

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL NEVES OLIVAN

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS ANEMOMÉTRICOS EM PARQUE
EÓLICO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL NEVES OLIVAN

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS ANEMOMÉTRICOS EM PARQUE
EÓLICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro(a)
Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Olivan, Gabriel

Análise estatística de dados anemométricos em parque
eólico / Gabriel Olivan; orientação de Everthon Taghori Sica.
- Florianópolis, SC, 2022.

66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Torre Anemométrica. 2. Potência Eólica. 3. Distribuição
de Weibull. I. Taghori Sica, Everthon. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. Análise estatística
de dados anemométricos em parque eólico.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS ANEMOMÉTRICOS EM PARQUE EÓLICO

GABRIEL NEVES OLIVAN

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 20 de dezembro, 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Everthon Taghori Sica, Dr.Eng.

Prof. Gustavo Cardoso Orsi, Me.Eng.

Prof. João Carlos Martins Lúcio, Dr.Eng.

“As vezes ouço passar o vento;
e só de ouvir o vento passar,
vale a pena ter nascido.”
(Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Everthon Taghori Sica, faço um agradecimento especial, pela paciência, orientação, apoio e confiança durante todo o processo de construção deste estudo.

Aos meus pais e meu irmão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional não somente durante a elaboração deste trabalho, mas em todos os anos dedicados ao curso.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação. Obrigado.

RESUMO

A transição energética de fontes fósseis para fontes renováveis é de suma importância tanto para nosso país como para o mundo, principalmente devido à redução no impacto ambiental. Observa-se, assim, uma busca por energias renováveis, entre as quais a energia eólica se destaca, especialmente devido à sua disponibilidade e ao seu potencial. Nesse contexto, investiga-se a energia disponível em um parque eólico. Para tanto, este trabalho buscou analisar os dados obtidos através dos registros de um *Data logger* utilizado em uma estação anemométrica, sendo eles, velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura do ar, o qual atende aos padrões AMA (Acompanhamento de Medições Anemométricas), a fim de averiguar se a energia eólica disponível estava em conformidade ao local em que se situa o parque eólico. A partir das informações coletadas, realizou-se ainda, utilizando a distribuição de probabilidade de Weibull por meio da modelagem da velocidade do vento como uma variável aleatória, o cálculo da potência eólica esperada nesse local, comparando-a com o valor verificado da potência. Como resultado, observou-se que os valores obtidos nos cálculos estavam próximos aos valores reais, não iguais, devido a fatores influentes, como distância entre a torre anemométrica e do aerogerador, assim como diferença de velocidade do vento e sua direção, o que se mostrou importante para que o alcance de uma estimativa confiável da capacidade de geração, com visto tanto no planejamento da usina como um todo quanto diante da viabilidade econômica. Por fim, fizeram-se algumas considerações acerca dos benefícios da energia eólica como uma fonte de energia renovável e de grande produção.

Palavras-chave: Torre Anemométrica. Potência Eólica. Distribuição de Weibull.

ABSTRACT

The energy transition from fossil sources to renewable sources is very important for our country and the world, mainly because it is an energy of low environmental impact. Thus, there is a search for renewable energies, among which wind energy stands out, especially due to its availability and its potential. In this context, the energy available in a wind farm is investigated. Therefore, this work sought to analyze the data obtained through the records of a Data logger used in an anemometric station, being wind speed, atmospheric pressure and air temperature, which meets AMA (Monitoring Anemometric measurements) standards, in order to ascertain whether the available wind energy was in conformity with the location where the wind farm is located. From the information collected, we also calculated the expected wind power at this location, comparing it with the verified value of the power. As a result, it was observed that the values obtained in the calculations were close to the actual values, not equal, due to influential factors, such as the distance between the anemometric station and the wind generator, as well as the difference in wind speed and its direction, which proved important for the achievement of a reliable estimate of generation capacity, with a view both in the planning of the plant as a whole and the view of the economic viability. Finally, some considerations were made about the benefits of wind energy as a source of renewable energy and high production.

Keywords: Anemometric Station. Wind power. Weibull distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Células de circulação atmosféricas	19
Figura 2 – Brisa marítima e brisa terrestre	20
Figura 3 – Brisa do vale e brisa da montanha	20
Figura 4 – Função densidade de probabilidade de Weibull com fator de forma (k) igual a 1, 2 e 3 e fator de escala c igual a 8	25
Figura 5 – (a) Turbina de eixo horizontal e (b) VAWT - Turbina de eixo vertical	28
Figura 6 – Disposição dos instrumentos em uma torre anemométrica.....	31
Figura 7 – (a) Torre autoportante triangular, (b) Torre estaiada e (c) Torre tubular ..	33
Figura 8 – Ilustração esquemática de uma torre anemométrica.....	35
Figura 9 – Limites estipulados pela EPE referente aos anemômetros	39
Figura 10 – Limites estipulados pela EPE referente ao barômetro	40
Figura 11 – Limites estipulados pela EPE referente ao termômetro	41
Figura 12 – Limites estipulados pela EPE referente ao higrômetro.....	42
Figura 13 – Variação da massa específica do ar	43
Figura 14 – Potência eólica calculada comparada com a potência eolioelétrica verificada pelo período	44
Figura 15 – Potência eólica calculada e potência eolioelétrica verificada pela velocidade do vento.....	45
Figura 16 – Função de densidade de probabilidade calculada	47
Figura 17 – Função de distribuição cumulativa calculada	48
Figura 18 – Curva da densidade probabilística de geração	49
Figura 19 – Curva da distribuição cumulativa da potência eólica.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado dos calculos realizados de densidade de potência e distribuição cumulativa de potência.....	49
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMA	Acompanhamento de Medições Anemométricas
AMLM	Método Alternativo de Probabilidade Máxima
EEM	Método de Energia Equivalente
EMJ	Método Empírico de Justus
EML	Método Empírico de Lysen
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPFM	Método do Fator de Padrão de Energia
GM	Método Gráfico
HAWT	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>
MLM	Método de Probabilidade Máxima
MMab	Método de Mabchour
MMLM	Método de Probabilidade Máxima Modificado
MoM	Método de Momentos
SIN	Sistema Interligado Nacional
VAWT	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Definição do Problema	12
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	Estrutura do trabalho.....	14
2	ENERGIA EÓLICA DE PARQUES <i>ONSHORE</i>.....	15
2.1	Disponibilidade de energia Eólica	15
2.1.1	Conceito do vento	16
2.1.2	Forças envolvidas na formação do vento.....	17
2.1.3	Formação dos ventos.....	18
2.1.4	Potência eólica disponível.....	20
2.2	Distribuição de Weibull.....	24
2.3	Aproveitamento da energia eólica.....	27
2.3.1	Aerogeradores	27
2.3.2	Parques eólicoelétricos	29
2.4	Medição do vento	30
2.5	Instrumentos de medição.....	32
2.6	Anemômetros e sistemas de sensoriamento	33
2.7	Conclusão.....	35
3	ESTUDO DE CASO	37
3.1	Captação de dados	37
3.2	Potência eólica	43
3.3	Implementação estatística.....	46
3.4	Conclusão.....	50
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	52
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXOS.....	57
	ANEXO A – DADOS DO ANEMÔMETRO SUPERIOR.....	58
	ANEXO B – DADOS DO ANEMÔMETRO INTERMEDIÁRIO	59
	ANEXO C – DADOS DO ANEMÔMETRO INFERIOR	60
	ANEXO D – DADOS DE DIREÇÃO DO VENTO SUPERIOR E INFERIOR	61
	ANEXO E – DADOS DO HIGRÔMETRO.....	62
	ANEXO F – DADOS DO TERMÔMETRO.....	63
	ANEXO G – DADOS DO BARÔMETRO.....	64
	ANEXO H – DADOS DE POTÊNCIA EOLIOELÉTRICA VERIFICADA	65
	ANEXO I – DADOS DOS CÁLCULOS REALIZADO.....	66

1 INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica em um parque eólico segue uma série de princípios, o que requer a consideração acerca da velocidade de vento, da localização e de instrumentos de medição. Ciente disso, este trabalho busca analisar e comparar valores de potência eólica obtidos de um *Data logger* em uma estação anemométrica com os dados de potência verificada de um parque eólico.

O Data logger é um dispositivo para gravar medições realizadas por diversos instrumentos, como por exemplo, anemômetros que são responsáveis por registrarem dados de velocidade do vento. Esses dados gravados podem ser utilizados para várias análises, conforme a EPE (2016b) uma estação anemométrica deve possuir em sua estrutura um Data logger para realizar a gravação dos dados medidos pelos instrumentos contidos nessa estação.

A partir da observação dos dados fornecidos pelo dispositivo Data logger de estações anemométricas, nota-se que nem sempre os dados de geração obtidos de torres eólicas próximas coincidem com os cálculos obtidos destas estações anemométricas, este é o primeiro apontamento. Além disso, no decorrer do desenvolvimento econômico, tem-se como segundo apontamento que a energia elétrica conquistou um espaço de suma importância, tornando-se indispensável para a população. Atualmente, porém, devido à preocupação com questões ambientais e possível escassez de recursos não-renováveis, a energia eólica cresce acentuadamente.

Assim, diante desses dois apontamentos, este trabalho tem por objetivo investigar se o cálculo da potência eólica realizado com os dados obtidos da estação anemométrica reflete os valores gerados por uma torre eólica próxima. Afinal, todo aerogerador é dotado de uma turbina eólica a qual tem seu comportamento estabelecido/obtido através de um gráfico do coeficiente de potência pelo arrasto, que pode ser simulado em um túnel de vento. Para completude da análise, assume-se aqui que tais valores sofrem mais variações do que as previstas.

1.1 Definição do Problema

O Data logger é um dispositivo para registrar as medições, neste estudo, climatológicas, sendo utilizado pela estação anemométrica, pois apura os valores meteorológicos reais, intervalados em 10 minutos, o que permite o cálculo da potência eólica. Por meio do registrador de medições (Data logger), a estação anemométrica compila, tabula os dados e os envia para a EPE, que armazena estes para, quando adequado, realizar estudos energéticos. Com o crescimento relativo ao uso do recurso energético primário eólico acarreta necessidade de previsibilidade da produção com finalidade de aumentar a participação na estabilidade do SIN. Nesse sentido, a variabilidade dessa fonte primária é um desafio a ser contornado, por exemplo, com o monitoramento dos ventos. Monitoramento esse que proporciona o conhecimento sobre o comportamento e aumenta a acurácia da previsibilidade e do planejamento da operação. Contudo, questiona-se, se o cálculo da potência eólica realizado com os dados obtidos da estação anemométrica reflete os valores gerados por uma torre eólica próxima.

1.2 Justificativa

A matriz elétrica brasileira é considerada hidro-eoliotérmica, deste modo a produção de energia elétrica proveniente de recursos energéticos eólicos não é considerada totalmente como complementar. Todavia, a energia eólica tem cada vez mais participação no Sistema Interligado Nacional (SIN). Conforme o Balanço Energético Nacional (EPE, 2021), tem-se um crescimento elevado nos últimos anos e no ano de 2020 a eólica perfaz 22,1% do cenário energético nacional, com um crescimento 1,9% de 2019 a 2020. Apesar de não ser a fonte energética de maior crescimento, posto que pertence a energia solar fotovoltaica, a expansão de parques eólicos e aerogeradores vem proporcionando um ganho de escala maior, fruto do desenvolvimento técnico e tecnológico de aerogeradores e sistemas de controle.

O sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas (AMA)

[...] é um aplicativo computacional desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para registro das medições anemométrica e climatológicas fornecidas pelos parques eólicos vencedores dos leilões de compra de

energia elétrica promovidos pelo Governo Federal através do Ministério de Minas e Energia. (EPE, 2016a, p.1)

Conforme as instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos (EPE, 2016b), tais registros de medições são realizados através de estações anemométricas que devem possuir em sua composição oito instrumentos de medição: anemômetro superior, este instrumento deve estar na mesma altura dos aerogeradores do parque eólico, anemômetro intermediário, anemômetro inferior, medidor de direção do vento superior, medidor de direção do vento inferior, termômetro, higrômetro e barômetro. Assim, quando a estação está em pleno funcionamento, as medições são enviadas para a EPE, que analisa a consistência desses dados e os armazena.

As estações anemométricas são de grande importância por fazerem a composição do banco de dados utilizado em estudos elétricos e energéticos através de programas desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Segundo as instruções de medições anemométricas (EPE, 2016b) esta estação deverá ser “[...] posicionada na parte frontal do parque eólico tendo como referência a direção predominante dos ventos [...]”, com esse posicionamento da estação torna-se possível a comparação dos dados de geração real com os cálculos de geração teórica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho pretende analisar estatisticamente o valor de potência eólica, o qual é originalmente calculado a partir dos dados de velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura do ar encaminhados à EPE, referentes à uma torre anemométrica e, assim, compará-los aos dados de geração verificada de um aerogerador, a fim de verificar se a produção de energia está próxima do considerado ideal, sendo isso, uma produção de energia eólica próxima a energia disponível.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos pretende-se:

- a) analisar os dados, velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura do ar, obtidos de um *Data logger* utilizado em uma estação anemométrica;
- b) verificar a consistência destes dados, velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura do ar, de acordo com as especificações dos limites de medição requeridos pelo AMA;
- c) implementar um modelo estatístico com base nos dados anemométricos para o cálculo da potência eólica; e
- d) comparar o resultado do cálculo da potência eólica obtida pelo modelo estatístico com os valores reais de uma torre eólica.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho estrutura-se em cinco Capítulos. Primeiramente, no Capítulo 1, apresentam-se a Introdução, a Justificativa, a Definição do Problema, o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos. No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica referente à produção de energia eólica e à medição de dados anemométricos e, também, discorre acerca dos instrumentos de medição do vento característicos das torres anemométricas

Em seguida, no Capítulo 3, apresenta-se um estudo de caso a partir de dados coletados através de *Data logger*, os quais possibilitam a observação da potência verificado (obtida de um parque eólico em operação) versus a potência calculada e análise estatística pelo método de distribuição de Weibull.

No Capítulo 4, são feitas considerações gerais e apresentadas sugestões para futuros estudos.

Por fim, nas Referências, são elencados os trabalhos utilizados como base para este estudo e nos Anexos são disponibilizados os dados utilizados para as equações presentes neste estudo.

2 ENERGIA EÓLICA DE PARQUES *ONSHORE*

Ciente de que os parques eólicos, tanto o *offshore* quanto o *onshore*, são essenciais quando se trata de uma energia limpa, cabe esclarecer que este trabalho se desenvolve com foco nos parques onshore. Conforme Hollaway (2013), a área de produção das turbinas é geralmente referida como um parque eólico, que é um grupo de turbinas eólicas no mesmo local. Um grande parque eólico pode consistir em várias centenas de turbinas eólicas individuais, que poderiam cobrir uma área de centenas de quilômetros quadrados.

Entende-se por energia eólica *onshore* aquela gerada por turbinas eólicas encontradas em terra e impulsionadas pelo movimento natural do ar, o que faz com que sejam mais comuns em áreas mais abertas, tais como zona rural, campos e outras. A ideia central desse tipo de produção de energia é ambiental, pois seu impacto é bastante reduzido, visto que na operação não há emissão de carbono, como se observa em outras fontes de energia, a citar o petróleo, o carvão mineral. Além disso, trata-se de uma fonte de energia renovável, de baixo custo – se comparado a outras fontes de energia renovável.

Energia eólica *offshore* é aquela obtida por turbinas eólicas localizadas, fora da terra, ou seja, localizadas no mar. Os ventos que sopram em alto-mar são considerados mais constantes devido à inexistência de barreiras, como exemplo, montanhas.

2.1 Disponibilidade de energia Eólica

A energia eólica ganha gradativamente espaço no mercado mundial de energia, como uma tecnologia importante, de maturidade técnica e rapidez de implantação. As correntes de vento originam-se da energia solar, segundo Tong (2010), estima-se que a energia solar total recebida pela Terra seja de aproximadamente $1,8 \times 10^{11}$ MW. Desde a entrada solar, apenas 2% (ou seja, $3,6 \times 10^9$ MW) é convertido em energia eólica, pelo deslocamento de massas de ar na atmosfera, e cerca de 35% da energia eólica é dissipada dentro de 1000 m da

superfície da Terra. Portanto, a energia eólica disponível que pode ser convertida em outras formas de energia é de aproximadamente $1,26 \times 10^9$ MW. Visto que esse valor representa cerca de 20 vezes a taxa do consumo global atual de energia, toda a energia eólica, em tese utópica, poderia atender praticamente todas as necessidades energéticas do mundo.

Em comparação com as fontes de energia tradicionais, a energia eólica tem uma grande vantagem: é abundante e está disponível na maioria das regiões da Terra. Além disso, o uso mais extensivo do vento ajudaria na redução das demandas por combustíveis fósseis.

Vale reforçar ainda, que também de acordo com Tong (2010), as turbinas eólicas podem ser divididas em várias categorias de capacidades nominais: turbinas eólicas pequenas, médias, grandes e ultragrandes. Pequenas turbinas possuem geralmente potência menor que 100kW e são utilizadas em residências. As de porte médio são as que possuem potência entre 100kW e 1 MW, utilizadas em geração distribuída. Turbinas de 1MW até 10MW são as de porte grande e as mais utilizadas em parques eólicoelétricos. Turbinas ultragrandes estão em desenvolvimentos e são aquelas com potências acima de 10MW. Assim, como a fonte de energia mais promissora, acredita-se que a energia eólica deve crescer ainda mais no fornecimento global de energia no século XXI

2.1.1 Conceito do vento

De acordo com Martins, Guarnieri e Pereira (2008) o vento é conceituado como o movimento de parcelas de ar na atmosfera. Ainda que o ar se mova tanto na direção vertical quanto horizontal, a denominação de vento é aplicada somente à parcela horizontal, ou seja, ao movimento paralelo à superfície do planeta. Velocidade e direção do vento, combinadas com temperatura, umidade e pressão do ar atmosférico são as mais importantes variáveis empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre. Dutra (2008) complementa que toda a energia resultante do vento é proveniente do sol, pois

[...] a irradiação solar que incide sobre nosso planeta causa o aquecimento desigual da superfície terrestre, fazendo com que as massas de ar da

atmosfera fiquem expostas a gradientes de pressão. Devido ao comportamento fluido dos gases da atmosfera, grandes porções de ar escoam dos pontos com maior pressão para os de menor. (DUTRA, 2008).

Por sua vez, Geiger (1990 *apud* Ataíde et al., 2015) expõe, em consoante com Martins (2008), que o vento é caracterizado pelo movimento do ar em relação à superfície terrestre. Sendo assim, é resultado dos contrastes de pressão atmosférica em grandes espaços, isto é, representa o deslocamento horizontal de uma massa de ar quando duas massas de ar de densidades diferentes (pressões diferentes) interagem. Como consequência, tem-se o surgimento de um fluxo de ar da região da maior para a de menor pressão, até que as pressões entre essas regiões se estabilizem.

Segundo Pinto (2013), o vento ele é estocástico, ou seja, ele ocorre de forma aleatória e tem sua velocidade sendo uma variável aleatória contínua.

2.1.2 Forças envolvidas na formação do vento

O vento é a movimentação das massas de ar na atmosfera, consideramos o vento uma corrente contínua de parcelas de ar. Há cinco forças atuando sobre as parcelas de ar:

- a) Força do gradiente de pressão;
- b) Força de Coriolis;
- c) Força centrífuga;
- d) Força de atrito; e
- e) Força da gravidade.

A força do gradiente de pressão ocorre quando existe uma mudança de pressão do ar de um lugar para outro. O ar tende a mover-se das áreas de pressão mais alta para as de pressão mais baixa.

A força ou efeito Coriolis é a aceleração provocada pela rotação da terra, que tende a mudar a direção do movimento de massas de ar. De acordo com a lei da conservação da quantidade de movimento, uma massa que tem sua direção alterada em um sentido, irá variar para o sentido oposto. Logo uma massa de ar que se desloque do pólo ao equador terá a direção do seu movimento alterada inversamente ao sentido de rotação da terra, e para uma massa que vai do equador para o pólo ocorre o contrário, afirma Custódio (2009).

A força centrífuga, de acordo com Fuke e Yamamo (1993), é aquela que tem um sentido para fora do centro do movimento circular, que resulta da primeira Lei de Newton, o princípio da inércia, o qual afirma que todos os corpos se opõem às variações de velocidade na mesma proporção de sua massa.

A força de atrito é aquela que aparece quando duas superfícies estão em contato e há certa tendência de movimento relativo. Desse modo, sempre que um corpo deslizar sobre outro, um estará exercendo uma força sobre o outro, pois, conforme Corradi (2008), “a força de atrito em cada corpo se opõe ao movimento dele relativamente ao outro corpo.”

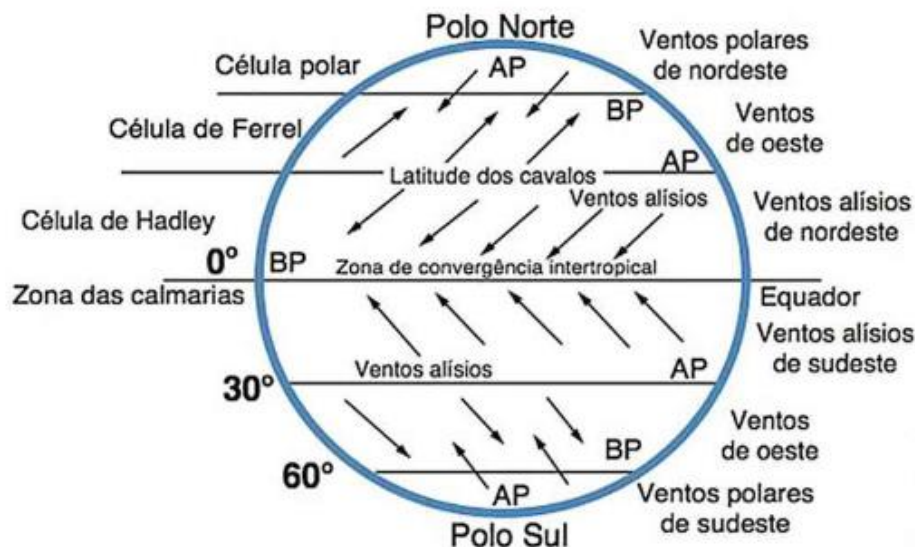
A força de gravidade é responsável por manter os corpos em contato com o chão, pois se trata, segundo Fuke e Yamamo (1993), de uma força vertical e para baixo, que também define o peso de um corpo. Assim, todo objeto que se movimenta em queda livre estaria sob influência da aceleração da gravidade.

2.1.3 Formação dos ventos

Segundo Custódio (2009) a união da força Coriolis, das forças de atrito do ar e das diferenças de pressão entre os pólos e o equador, gera células de circulação atmosférica entre essas regiões. Por hemisfério são criadas basicamente três células de circulação: a célula tropical; a célula temperada – ou de ferrel – e a célula polar.

De acordo com Pinto (2013), o efeito Coriolis é o responsável pelo desvio do movimento dos ventos para a direita no hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul. Há um fluxo contínuo de massas de ar da superfície para o equador, das regiões de altas pressões subtropicais para as de baixas pressões equatoriais. O vento alísio é justamente esse movimento em busca das menores pressões, eles sopram em baixas altitudes, são úmidos e provocam chuvas nas imediações da linha do equador. Pela Figura 1, observa-se a posição de cada célula, assim como os ventos predominantes.

Figura 1 – Células de circulação atmosféricas



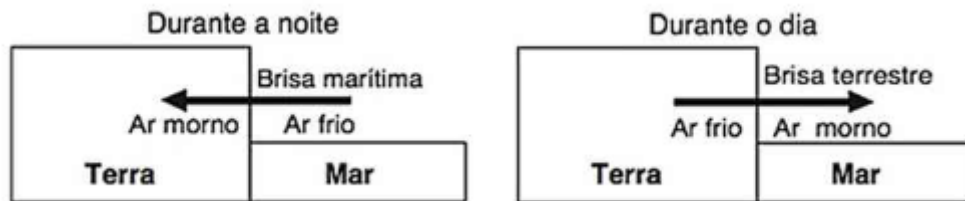
Fonte: Pinto (2013).

As células de Hadley, também conhecidas como células tropicais, produzem ventos sudoestes no hemisfério sul e ventos nordestes no hemisfério norte, chamados de ventos alísios. Já, nas células temperadas, a direção é quase inversa à direção das células tropicais, os ventos dessa célula são chamados de ocidentais e são separados por regiões de alta pressão chamadas de regiões de calmaria. As células polares, por sua vez, são caracterizadas por ventos anticiclone, com ventos do leste, explana Custódio (2009).

Esses ventos são caracterizados por comportamentos de larga escala e em altas altitudes, assim, neste estudo, o enfoque dado é para a circulação terciária do vento, também chamada de circulação local (pequena escala), aquela considerada a circulação “mais próxima” à realidade de geração eólica. São denominados ventos terciários a brisa marítima e terrestre, bem como os ventos em vales e montanhas.

Segundo Pinto (2013) a brisa marítima ocorre quando existe diferença de temperatura entre o continente e a água. Quando o vento sopra do mar (ar frio) para o continente (ar morno), tem-se, então, a brisa marítima (que ocorre durante a noite). Já, quando o vento sopra do continente para o mar, tem-se a brisa terrestre (que ocorre durante o dia), conforme se observa na Figura 2.

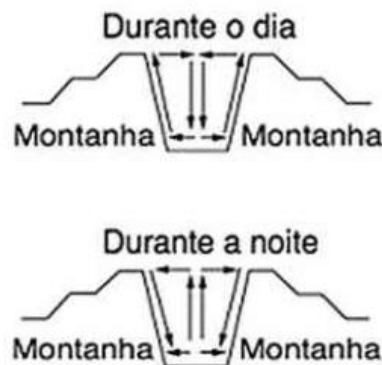
Figura 2 - Brisa marítima e brisa terrestre



Fonte: Milton Pinto (2013).

Custódio (2009) afirma que os ventos em vales e montanhas são causados por diferenças de pressão e de relevos. Durante o dia, o ar morno prevalece nas bases ou no fundo dos vales, enquanto nas partes mais elevadas prevalece um ar mais frio, logo como o ar frio é mais denso que o ar quente, haverá uma troca de ar entre os dois pontos, criando uma circulação de massas de ar. Durante a noite acontece o oposto, conforme se observa a Figura 3.

Figura 3 - Brisa do vale e brisa da montanha



Fonte: Milton Pinto (2013).

O ar em movimento contém energia cinética, a qual, segundo Custódio (2009), tem uma variabilidade muito alta. Contudo, para um bom aproveitamento energético, tem-se a necessidade de previsão do seu comportamento.

2.1.4 Potência eólica disponível

Supondo um cilindro hipotético através do qual circula uma corrente de ar com velocidade “v” e massa “m”, tem-se assim, a energia cinética de um corpo de massa dada pela equação 1. (PINTO, 2013; CUSTÓDIO, 2009; TONG, 2010).

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Onde:

E_c – energia cinética [Joules]

m – massa do ar [kg]

v – velocidade do vento [m/s]

A – área da seção transversal do cilindro que é atravessada pelo vento [m²]

O fluxo da massa de ar é dado pela Equação 2.

$$m = \rho v A \quad (2)$$

Onde:

ρ – densidade massa específica do ar [kg/m³]

v – velocidade da massa de ar [m/s²]

A – área da seção transversal [m²]

Transformando a Equação 1 mais adequada ao estudo, substitui-se m por $\rho v A$, conforme a Equação 3:

$$P = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (3)$$

Onde:

P – potência disponível [W]

ρ – densidade massa específica do ar [kg/m³]

v – velocidade do vento [m/s²]

A – área da seção transversal do cilindro que é atravessada pelo vento [m²]

A Equação 3 pode ser escrita por unidade de área, definindo, desta forma, a densidade de potência “DP” [W/m²], ou fluxo de potência eólico, conforme Equação 4:

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho v^3}{2} \quad (4)$$

Onde:

P – potência disponível [W]

ρ – densidade massa específica do ar [kg/m³]

v – velocidade do vento [m/s²]

A – área da seção transversal do cilindro que é atravessada pelo vento [m²]

A interpretação que pode-se obter a partir da análise da Equação 4 é que a potência disponível do vento é diretamente proporcional ao cubo da velocidade deste vento. Isso significa, por exemplo, que se o vento duplicar seu valor, a potência aumentará em oito vezes.

O vento é um fluido e atende às leis dos gases perfeitos dadas pela equação de Clayperon, em que, para uma dada pressão P, n é o número de mol do gás (ar) e V, o volume deste:

$$PV = nRT \quad (5)$$

Onde:

P – pressão do gás

V – volume

n – número de mol do gás (ar)

R – constante do ar [287 J/kg . K]

T – temperatura [K]

A Equação 3 mostra que existe uma relação direta entre potencial disponível do vento e a massa específica do ar. A massa específica do ar depende da temperatura e da pressão atmosférica, de acordo com a Equação 6.

$$\rho = \frac{P_a}{RT} \quad (6)$$

Onde:

ρ – densidade massa específica do ar [kg/m³]

P_a – pressão atmosférica [Pa]

R – constante do ar [287 J/kg . K]

T – temperatura [K]

A densidade massa específica do ar, ρ [kg/m³], além da altitude, também depende da temperatura ambiente. A Equação 7 especifica essa relação:

$$\rho = \frac{[353,4 \left(1 - \frac{z}{45271}\right) 5,26274]}{273,15 + T} \quad (7)$$

Onde:

ρ – densidade massa específica do ar [kg/m³]

z – altitude do local [m]

T – temperatura [°C]

Pode-se, assim, afirmar que entre os fatores influentes na energia do vento, tem-se a pressão atmosférica [Pa], a altitude do local [m] e a temperatura [°C].

Quando um dado evento ocorre de modo aleatório, ele então é estocástico. O vento, por exemplo, tem características estocásticas e sua velocidade é uma variável aleatória contínua. Em tais casos é necessário discretizar os dados para facilitar a análise do vento, esclarece Pinto (2013). Esse comportamento estocástico da velocidade do vento tem influência direta sobre a potência disponível e consequentemente sobre a capacidade de geração de energia elétrica em uma usina eólica.

Como o vento tem natureza estocástica, existe uma variação tanto na sua direção quanto em sua velocidade. Devido a essa natureza, afinal um vento não será estocástico se não ocorrer de forma aleatória. O que o caracteriza como

estocástico é, conforme Pinto (2013), o fato de sua velocidade ser uma variável aleatória contínua.

Consoante a Breeze (2016), Pinto (2013) e Custódio (2009) a velocidade do vento varia em diversas escalas: diurna, mensal e anual. Ademais, a variação anual da velocidade do vento comporta-se sazonalmente, o que demonstra um comportamento repetitivo no decorrer do ano, ou seja, o vento tende a seguir um determinado perfil de velocidade.

Cabe esclarecer que, estatisticamente, existem dois tipos de distribuição de probabilidade: a distribuição contínua e a distribuição discreta, sendo que a função de probabilidade que mais se adequa à distribuição do vento é a denominada distribuição de Weibull, que é contínua.

2.2 Distribuição de Weibull

Conforme Rinne (2008) a distribuição de Weibull atrai a atenção em muitos campos de estudos estatísticos e, junto com algumas distribuições, o modelo de Weibull é o mais conhecido dentro da estatística moderna para modelar matematicamente o comportamento do vento.

Segundo Campisi-Pinto (2020) a precisão das informações sobre a distribuição dos ventos serve de referência para o alcance de melhores resultados de potencial de produção de energia. Assim, para uma estimativa mais segura acerca do potencial produção de energia, faz-se uso das funções de densidade probabilidade (FDPs) de ventos de superfície associados a suas velocidades.

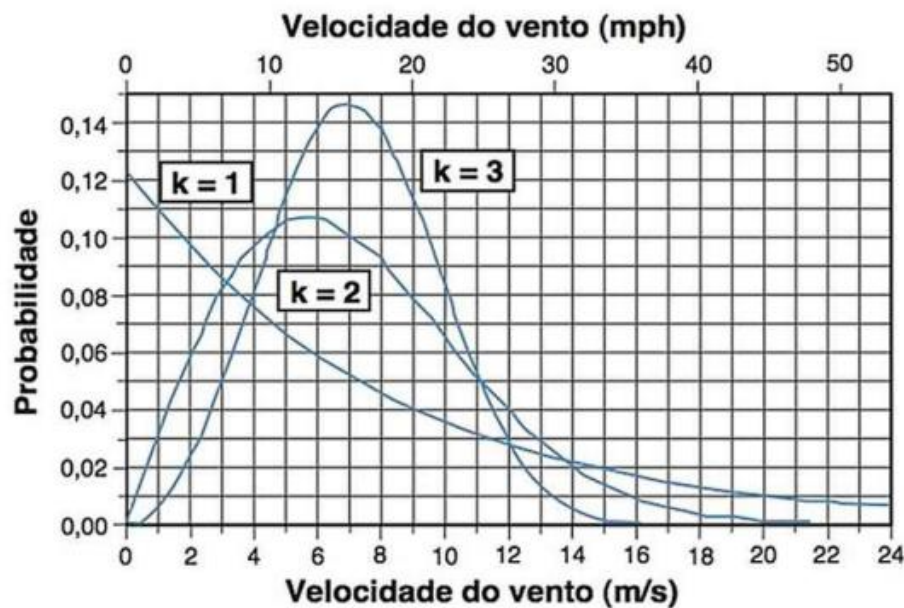
Ghosh *et al.* (2014) alegam que existem várias funções de densidade que podem ser usadas para descrever a curva de frequência da velocidade do vento. As duas mais comuns são as funções de Weibull e de Rayleigh. Entre as duas, o Rayleigh necessita apenas de um parâmetro, enquanto o de Weibull utiliza dois, sendo assim, mais versátil.

De acordo com Pinto (2013) a função que frequentemente é usada para caracterizar as estatísticas da velocidade do vento é chamada de probabilidade de Weibull, conforme Equação 8.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1}e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (8)$$

Onde v é a velocidade do vento [m/s], k é o fator de forma [m/s] e c é o fator de escala (adimensional), logo o fator de forma k , muda o formato da função. Conforme na Figura 4, tem-se um fator de escala $c=8$ e variando o fator de forma para $k=1$, $k=2$ e $k=3$.

Figura 4 - Função densidade de probabilidade de Weibull com fator de forma (k) igual a 1, 2 e 3 e fator de escala c igual a 8



Fonte: Milton Pinto (2013).

Conforme análise de Pinto (2013) acerca da função de densidade de probabilidade de Weibull na Figura 4, vemos que

[...] para $k = 1$ a curva se assemelha a uma função exponencial com decaimento, e provavelmente não seria uma boa região para as turbinas eólicas, já que a maioria dos ventos está em baixas velocidades. Para $k = 2$, o vento sopra moderadamente constante, mas há períodos em que o vento sopra bem mais firme do que a maioria das velocidades localizadas próximas ao pico da função. Para $k = 3$, a função se assemelha ao formato familiar de um sino, e a região da curva estaria onde boa parte dos ventos sopra, moderadamente constantes como os ventos alísios. Dessas três condições, a intuição nos leva a achar que a curva em que $k = 2$ é a mais realista para a provável área de ação de uma turbina eólica, área esta que tem ventos fortes, com períodos de ventos bem baixos, como também alguns com alto valor. De fato, quando se conhece pouca coisa sobre o regime do vento, um bom ponto de partida é assumir $k = 2$. (PINTO, 2013, p. 73).

Visto os valores de forma em que a variável k foi considerada, Pinto (2013) também coloca que, quando assumido o valor de $k = 2$, a função de

densidade de probabilidade se chama distribuição de Rayleigh, usada geralmente em estudos preliminares, tendo assim a Equação 9.

$$f(v) = \frac{\pi v}{2\bar{v}^2} \exp\left[-\frac{\pi(v)^2}{4(\bar{v})^2}\right] \quad (9)$$

Onde, $\bar{v}$ é a velocidade média do vento [m/s] e v é a velocidade do vento [m/s]. Segundo Pinto (2013), a equação utilizada para se encontrar o valor do fator de escala (adimensional) é dado pela Equação 10.

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{v} \quad (10)$$

Nesse contexto, a função distribuição de Weibull representa o regime do vento em muitos locais e se adequa ao estudo para, assim, ser possível analisar da melhor forma os dados provenientes do *Data logger* de uma estação anemométrica. Segundo Silva *et al.* (1999) com base nos dados de velocidade do vento registrados pelo data logger, com intervalados de 10 minutos, pode-se obter o diagrama de frequências ou histograma, assim como pode-se calcular a energia e a potência associadas.

É indispensável que a indústria eólica preocupe-se em descrever a variação das velocidades do vento, principalmente para que os responsáveis por projetar turbinas possam otimizar o *design* destas, de forma a reduzir os custos de geração, até por este ser um índice necessário para que os investidores consigam estimar seus rendimentos a partir da geração de eletricidade. Observa-se que, ao medir a velocidade do vento no decorrer de um ano, os ventos mais comuns são os moderados e fracos. Assim, quando há variação do vento em um ponto característico, esta costuma ser descrita através da distribuição Weibull.

Segundo estudo realizado por Kapen, Gouajio e Yemélé (2021), a partir de dados obtidos na estação meteorológica da cidade de Bafoussam, na região oeste dos Camaões, no período de 2007 a 2013, foi feita uma análise e comparação de dez métodos numéricos: o método empírico de Justus (EMJ); o método empírico de Lysen (EML); o método de momentos (MoM); o método gráfico (GM); o método de Mabchour (MMab); o método do fator de padrão de energia (EPFM); o método de probabilidade máxima (MLM); o método de probabilidade máxima modificado

(MMLM); o método de energia equivalente (EEM); e o método alternativo de probabilidade máxima (AMLM). A finalidade desse estudo foi estimar os parâmetros de Weibull para o potencial de energia eólica, concluiu-se que o método MLM apresentou a melhor capacidade ao longo dos testes de simulação, bem como o método EEM apresentou o menor erro na estimativa da energia eólica mensal.

2.3 Aproveitamento da energia eólica

Para melhor compreensão acerca do aproveitamento da energia eólica, traz-se, nesta seção, a anatomia básica dos aerogeradores. Assim como expõe-se brevemente sobre o efeito esteira, na distribuição dos aerogeradores.

2.3.1 Aerogeradores

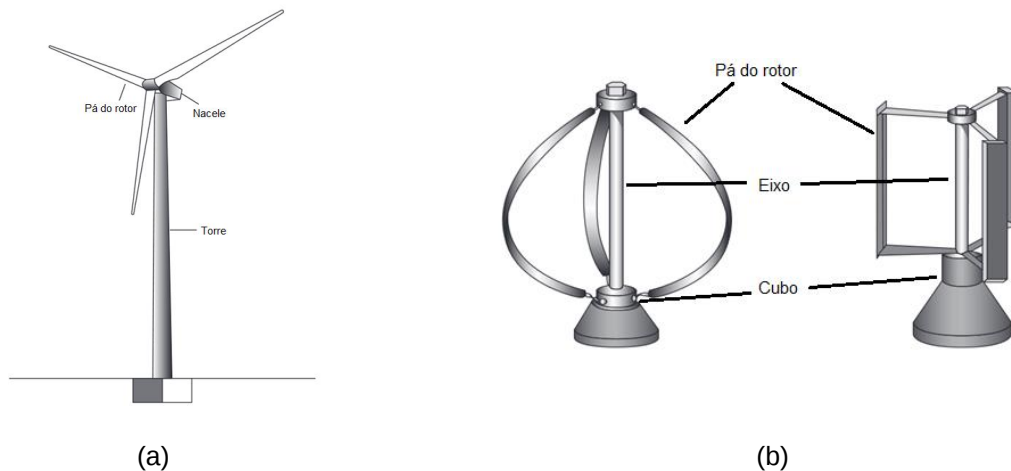
Segundo Breeze (2016) a anatomia básica dos aerogeradores foi lançada em meados de 1970, nela, é explanado que o princípio físico sobre o qual todas as máquinas eólicas estacionárias são baseadas é o uso do vento captado por velas ou pás, para girar em um eixo ao qual estão fixados, produzindo, assim, um movimento de rotação que pode então ser explorado para fornecer uma saída energética útil. Os primeiros exemplos foram usados para moer grãos ou bombear água, contudo, a partir do final do século XIX, as turbinas eólicas também passaram a ser usadas para gerar eletricidade. A exploração mais antiga do vento levou a duas variantes básicas, a turbina eólica do eixo vertical e a turbina eólica do eixo horizontal, sendo que ambas ainda são encontradas na indústria eólica atual.

Um maneira para se classificar as turbinas eólicas é analisar o eixo ao redor do qual as pás das turbinas giram. A maioria delas é de eixo horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine* - HAWT), porém, segundo Breeze (2019) existem algumas cujas pás giram na vertical (*Vertical Axis Wind Turbine* - VAWT).

De acordo com Pinto (2013), turbinas eólicas são equipamentos que absorvem parte da energia cinética do vento, convertendo-a em energia mecânica, que é transformada em energia elétrica através de um gerador elétrico acoplado. A Figura 5 mostra os dois tipos diferentes esquematicamente. A turbina eólica do eixo

horizontal tornou-se a configuração padrão para a grande turbina eólica, sendo que, atualmente, neste setor não há máquinas de eixo vertical. No entanto, variantes verticais podem ser encontradas na pequena turbina eólica.

Figura 5 – (a) Turbina de eixo horizontal e (b) VAWT - Turbina de eixo vertical



Fonte: (a) adaptado de Breeze (2019) e (b) adaptado de Breeze (2019).

A turbina eólica do eixo horizontal tem uma hélice, com várias pás que giram a partir da variação do vento. Esse rotor é montado na extremidade de um eixo que se localiza horizontalmente no topo de uma torre alta. O eixo é conectado a um gerador, muitas vezes através de um caixa de câmbio e a rotação do eixo gira o gerador, produzindo eletricidade. Unidades seguindo essa arquitetura básica com capacidades de várias megawatts formam a espinha dorsal da indústria eólica.

A turbina eólica do eixo vertical, em contraste, tem um eixo vertical com um gerador ligado a ele no nível do solo. Pás são montadas no eixo vertical e estas fazem com que o eixo gire a partir da variação do vento. As turbinas do eixo vertical do tamanho de kilowatts foram desenvolvidas no passado, mas não foram comercialmente bem sucedidas. No entanto, esse modelo ainda existe no mercado de pequenas turbinas eólicas.

De acordo com Tong (2010) as turbinas modernas são classificadas entre eixo horizontal e eixo vertical. A classificação mais utilizada comercialmente é a de eixo horizontal, em que o eixo de rotação das pás acontecem em paralelo à direção do vento. As vantagens desse tipo de turbina são: sua alta eficiência, alta densidade

de potência, baixo corte de velocidade do vento e baixo custo por unidade de potência.

2.3.2 Parques eólicoelétricos

Ciente de que um parque eólico é constituído por um conjunto de aerogeradores, cabe observar o efeito que a organização destes em esteira impacta nas medições. Para tanto, considerações sobre a aerodinâmica do rotor também devem ser incluídas no estado aerodinâmico do fluxo atrás do rotor.

Ocorre que, em um parque eólico, as turbinas ficam bastante próximas, o que afeta diretamente algumas delas devido à esteira do vento, ou seja, importantes aspectos devem ser observados, como:

- a) A redução da saída de energia das turbinas eólicas subsequentes devido à velocidade de fluxo médio na esteira do rotor.
- b) A turbulência na esteira do rotor, que é inevitavelmente aumentada, também termina aumentando a carga de turbulência nas turbinas afetadas.
- c) Em condições pobres, em que a influência da esteira do rotor pode afetar de modo indesejável o controle do ângulo de passo da pá. (PINTO, 2013, p. 177)

Entende-se que a energia eólica resulta da conversão da energia cinética do vento. Desse modo, a velocidade do vento diminui após passar pela turbina, fazendo, assim, com que o parque não produza a capacidade máxima de energia, como ocorre quando a energia é produzida isoladamente. A produção de energia das turbinas em esteira chega a resultar numa perda entre 10 e 20%.

No processo de extrair energia cinética, as turbinas eólicas modificam a estrutura do fluxo do vento ao produzir pequenas estruturas de turbulência e por reduzir significativamente a velocidade do vento. Todo o fluxo modificado segue então caminho abaixo após passagem pela turbina. Além disso, a diferença de velocidade entre a região da esteira e a região de fluxo livre gera algumas estruturas de vórtices (redemoinhos) turbulentos nas fronteiras da esteira. Como a interface da esteira se expande, as estruturas de vórtices turbulentos induzidos crescem em tamanho e contribuem para a recuperação da esteira. (PINTO, 2013, p. 177).

Assim, nota-se que a turbulência atmosférica, devido a variações de temperatura, pressão e velocidade do vento, pode resultar em aumento de carga de fadiga, reduzindo, assim, a vida útil da turbina e, conseqüentemente, gerando mais custo em manutenção

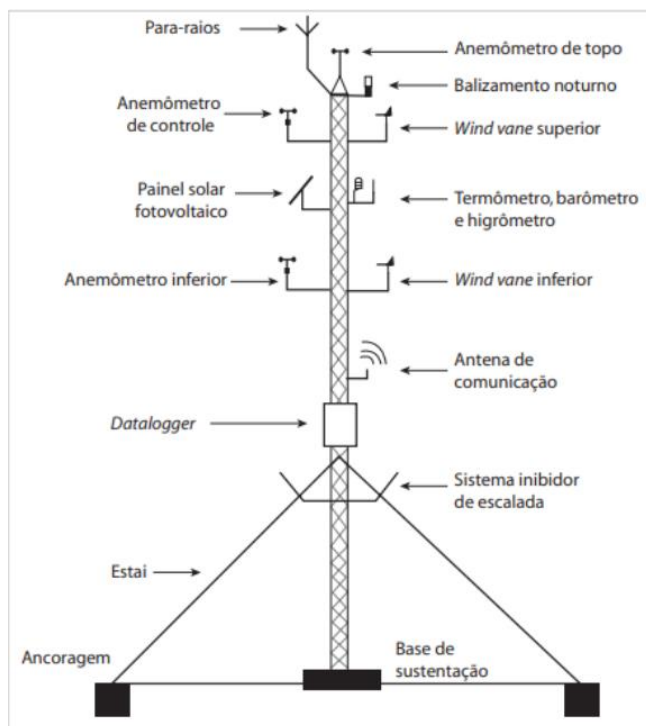
2.4 Medição do vento

De acordo com Pinto (2013) a velocidade do vento é medida por um instrumento chamado anemômetro. O vento é altamente variável, contudo, a partir do uso de um anemômetro, torna-se possível uma medição de qualidade, o que, conseqüentemente, reduz o risco financeiro do parque eólico, devido ao melhor aproveitamento do vento. Além disso, auxilia na avaliação dos recursos eólicos com o desenvolvimento para se extrair a máxima potência do vento. De acordo com a EPE (2022) cada parque eólico, independentemente da potência instalada ou da área ocupada, deverá instalar, dentro da área do parque, uma estação para medição e registro de dados meteorológicos, os quais deverão ser enviados à EPE.

Segundo Souza, Belin e Perillo (2022) os dados usados em estudos e pesquisas que subsidiam o planejamento do setor energético brasileiro devem ser confiáveis. A EPE é responsável por notificar a violação de algum descumprimento dos instrumentos e a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) é responsável por aplicar a punição. Para que a EPE possa efetuar a gestão dos dados destes instrumentos, foi desenvolvida uma plataforma chamada de Acompanhamento das Medições Anemométricas (AMA).

Conforme Souza, Belin e Perillo (2022) a importância das torres anemométricas se inicia antes da operação do parque, já na etapa de avaliação e estudo de viabilidade dos locais que possuem algum potencial para construção de parques eolielétricos. A EPE (2022) estabelece os aspectos construtivos das torres anemométricas a fim de regulamentar e estabelecer determinações para a instalação, dentre as quais encontram-se listados os instrumentos necessários para uma torre. Nesse caso, a instalação dos instrumentos deve ser realizada com base na norma IEC 61400-12-1:2005. A Figura 6 mostra a distribuição dos instrumentos obrigatórios em uma torre anemométrica vencedora de leilão.

Figura 6 - Disposição dos instrumentos em uma torre anemométrica



Fonte: EPE (2015).

Os dados meteorológicos obtidos através do registrador de medições (*data logger*) devem estar integralizados em um intervalo de 10 minutos, possuindo 600 registros, sendo uma medição para cada 1 segundo dentro deste intervalo.

Conforme Rosa, Haydt e Lopes (2015), desde 2011 a EPE opera o sistema AMA, um banco de dados para armazenar dados climatológicos e medições anemométricas adquiridas de parques eólicos contratados através de leilões brasileiros de energia. Sendo assim, todos os dados obtidos de torres anemométricas são enviados para este sistema. Para a EPE (2022, p. 11), necessita-se que os dados enviados ao sistema AMA estejam consistentes, desta maneira, são consideradas medições implausíveis as seguintes medidas:

- a) Pressão atmosférica: $P < 800 \text{ hPa}$ ou $P > 1060 \text{ hPa}$;
- b) Temperatura: $T < -15^{\circ}\text{C}$ ou $T > 50^{\circ}\text{C}$;
- c) Umidade do ar: $U < 0 \%$ ou $U > 110 \%$;
- d) Velocidade média do vento (10 min): $V < 0 \text{ m/s}$ ou $V > 50 \text{ m/s}$;
- e) Velocidade máxima do vento (1 seg): $V < 0 \text{ m/s}$ ou $V > 70 \text{ m/s}$.

Para este estudo, cabe esclarecer que serão utilizados os mesmos parâmetros considerados pelo sistema AMA como medições plausíveis.

2.5 Instrumentos de medição

Os dados armazenados no *Data logger* contam com instrumentos como termo-higrômetro, barômetro, anemômetros e *wind vanes*. Um dos modelos utilizados de *Data logger* é o Ammonit Meteo-40, que, conforme seu manual (AMMONIT, 2021), trata-se de um dispositivo de medição profissional que tem como função o registro de dados meteorológicos, os quais podem ser utilizados de forma flexível e serem adequados para uma ampla gama de aplicações. Os padrões implementados na medição e segurança dos dados atendem aos requisitos de especialistas, tais como a EPE.

O Termo-higrômetro é um sensor de temperatura e umidade compactado em forma de haste e com conexão plugável para medir a umidade relativa do ar e a temperatura (individualmente ou em conjunto), com alta precisão. A umidade relativa é medida por um sensor capacitivo, em que o valor de saída será analógico e conectado ao *Data logger*.

De acordo com Ammonit (2021), o barômetro AB 60, utilizado nas medições, objetiva medir a pressão do ar e enviá-las em formato de sinal para o *Data logger*. A Kintech engenharia, no manual *wind vane Thies First Class* (TMR – *Tunnel Magneto Resistance* - 2021), informa que este modelo serve para a detecção da direção horizontal do vento e é um dos sensores mais comuns utilizados na indústria para avaliação de recursos eólicos.

Ter dados precisos de direção do vento é uma parte muito importante de qualquer projeto de desenvolvimento de vento. Afinal, cabe esclarecer que, por menor que sejam, erros de medição da direção do vento podem gerar um impacto muito negativo na produção total de energia do parque eólico. O anemômetro é o sensor projetado para medir a velocidade horizontal do vento no campo da meteorologia, pesquisa climática, avaliação do local, bem como fazer a medição das características de capacidade dos sistemas de energia eólica (curvas de potência).

Neste contexto, a Ammonit (2021), o anemômetro *Thies First Class Advanced II* teve seu *design* patenteado devido ao resultado apresentado a partir de longos testes no túnel de vento. Trata-se de um sensor que apresenta comportamento dinâmico também em alta intensidade de turbulência,

sobrevelocidade mínima e baixos valores de partida. Além disso, ele requer pouca manutenção devido a sua estrutura.

2.6 Anemômetros e sistemas de sensoriamento

As torres anemométricas são estruturas utilizadas para medições anemométricas e climatológicas, as quais podem ser caracterizadas de acordo com dois atributos: sustentação e estrutura.

Conforme a EPE (2015, p. 12), as torres autoportantes (Figura 7a) “[...] não precisam de nenhuma sustentação adicional além da fornecida pela própria base e exigem menor área de instalação, se comparadas às torres estaiadas [...]”. Ademais, possuem um custo de investimento maior, mas, como vantagem, tem uma vida útil maior e um custo de manutenção menor.

As torres treliçadas e estaiadas (Figura 7b) possuem, normalmente, alturas entre 80 e 150 metros. Além de terem como vantagens um custo de investimento menor, a facilidade de transporte e de manuseio. Por sua vez, as torres tubulares (Figura 7c) possuem características como dificuldade de acesso aos instrumentos e limite de altura de montagem.

Figura 7 – (a) Torre autoportante triangular, (b) Torre estaiada e (c) Torre tubular



(a)



(b)



(c)

Fonte: (a) SMT do Brasil (2021a), (b) SMT do Brasil (2021b) e (c) EPE (2015).

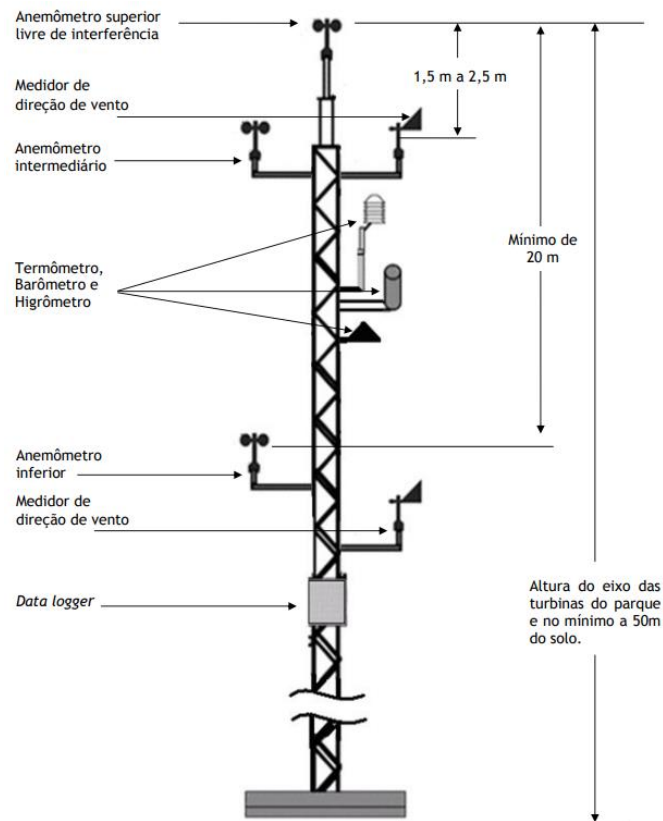
De acordo com a EPE (2015), a definição do local de instalação destas torres

[...] passa por duas etapas: a análise em escritório e a validação em campo. A análise em escritório deve compreender a autorização do órgão ambiental competente, a confirmação junto ao COMAR (Comando Aéreo Regional) da permissão de instalação da torre com a altura desejada e a verificação da existência de edificações, depressões, elevações ou outros obstáculos que inviabilizam ou comprometam a instalação da torre. Possíveis interferências dos estais em estradas e construções devem ser avaliadas, eventualmente com o auxílio de softwares de georreferenciamento, como o Google Earth. (EPE, 2015, p. 13)

De acordo com a EPE (2016b) é possível verificar todos os instrumentos que devem estar presentes em uma torre anemométrica. Esses terão suas medições gravadas em um registrador de medições (“data logger”), conforme a Figura 8, sendo eles:

- a) 03 anemômetros de concha;
- b) 02 medidores de direção dos ventos (“*Wind vanes*”);
- c) 01 higrômetro;
- d) 01 termômetro;
- e) 01 barômetro.

Figura 8 - Ilustração esquemática de uma torre anemométrica



Fonte: EPE (2016b).

Os sensores de velocidade do vento (anemômetros) e direção do vento (*Wind Vanes*) devem ser instalados em, no mínimo, duas alturas distintas. Os sensores superiores devem ser posicionados livre de obstáculos à altura equivalente ao eixo do rotor de um aerogerador, e os inferiores à altura do nível inferior das pás, ou no mínimo a 50 metros. Com isso, é possível obter um maior detalhamento quanto ao perfil de velocidade do vento.

2.7 Conclusão

Nesse capítulo, esclareceu-se acerca da energia eólica *onshore*, a qual é gerada por turbinas eólicas que ficam em terra e são impulsionadas pelo movimento natural do ar. Trata-se de uma fonte de energia vantajosa devido sua disponibilidade e abundância na natureza.

No que tange à energia eólica, vale lembrar a natureza estocástica da velocidade do vento, que pode ser modelada como uma variável aleatória contínua,

aquela que se repete durante o ano. Desse modo, o comportamento da velocidade do vento impacta diretamente na capacidade de produção de energia elétrica em um parque eólico. Tendo em vista que o foco deste trabalho é em torno da turbina eólica de eixo horizontal, que possui uma hélice que se movimenta a partir da ação do vento sobre suas pás, que giram o rotor, o qual conecta-se a um gerador e, assim, produz energia. O capítulo a seguir aborda sobre os instrumentos de medição que, no conjunto deste trabalho, possibilitarão uma análise mais assertiva do estudo de caso.

Buscou-se também, avaliar os recursos eólicos essenciais para o estudo de caso aqui proposto. Partiu-se, então, do princípio de que medir a velocidade do vento em um dado lugar é importante porque ela define a quantidade de eletricidade que uma turbina eólica é capaz de gerar nesse local. Contudo, essa velocidade depende essencialmente do local, se há ou não alguma obstrução – pois isso pode causar o efeito esteira, ou seja, gerar turbulência e provocar um retardo do vento – e o quão alto está acima do solo – afinal, quanto maior a altura de uma turbina, maior será provavelmente a quantidade de eletricidade produzida.

Segundo Dai (2016) a potência transportada pelo vento é equivalente ao cubo da velocidade do vento, conforme equação 3. Assim, quando se trata de turbina eólica, tudo fica mais complexo, pois entre as velocidades de saída e as medidas há uma variação e um aerogerador passa a produzir energia a partir de uma velocidade, x . Antes disso, sua geração é próxima a zero; depois, contudo, é equivalente ao cubo da velocidade do vento.

Como principal recurso, utilizou-se um anemômetro para medir a velocidade do vento, pois seu objetivo é medir os valores mínimo, máximo e a média da velocidade do vento no local. Os dados acerca da velocidade e da direção do vento são coletados pelo *Data logger* para análise posterior. Destacando que o ideal é que o anemômetro fique localizado no mesmo lugar e altura que o *hub* da turbina eólica proposta, o que deixa mais preciso o monitoramento da velocidade do vento.

3 ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo apresenta-se um estudo de caso que tem por objetivo, comparar os dados de geração de uma usina eólica com os valores calculados por meio das medições de velocidade do vento obtidos a partir de uma estação anemométrica localizada na parte frontal do parque eólico. Após a comparação inicial, apresenta-se o tratamento estatístico dado aos valores medidos para a velocidade do vento, com o objetivo de verificar se os valores de geração obtidos por meio de tal procedimento se aproximam dos valores de geração efetivamente verificados. Para tanto, são utilizados dados de medição coletados em um parque eolielétrico localizado na região norte do Brasil, mais especificamente na latitude de -5 graus e longitude de -35 graus, o que mostra que a região estudada é influenciada pelos ventos alísios.

Para análise, serão utilizados os registros de dados de um período de 24 horas corridas de operação, sendo que os dados de temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento serão aferidos da torre anemométrica situada à frente do parque eolielétrico e integralizados a cada 10 minutos. Serão também utilizados os valores de potência eolielétrica obtidas de um aerogerador com pás de 110 metros de comprimento de raio, situado no parque, para fins de comparação com os valores de potência eólica calculados na torre anemométrica e consequente validação. Tais dados são igualmente integralizados a cada 10 minutos (Anexo H).

3.1 Captação de dados

Inicialmente, deve-se verificar a consistência dos dados oriundos dos instrumentos indicados pelo AMA, tais como: anemômetros vento (Anexo A, Anexo B e Anexo C), *Wind vanes* (Anexo D), termo-higrômetros (Anexo E e Anexo F) e barômetros (Anexo G).

Com os dados do Data logger da torre anemométrica intervalados em dez minutos durante um período de um dia (24h), nota-se que esses dados

correspondem a medições mínimas, máximas e médias de cada um dos seguintes instrumentos:

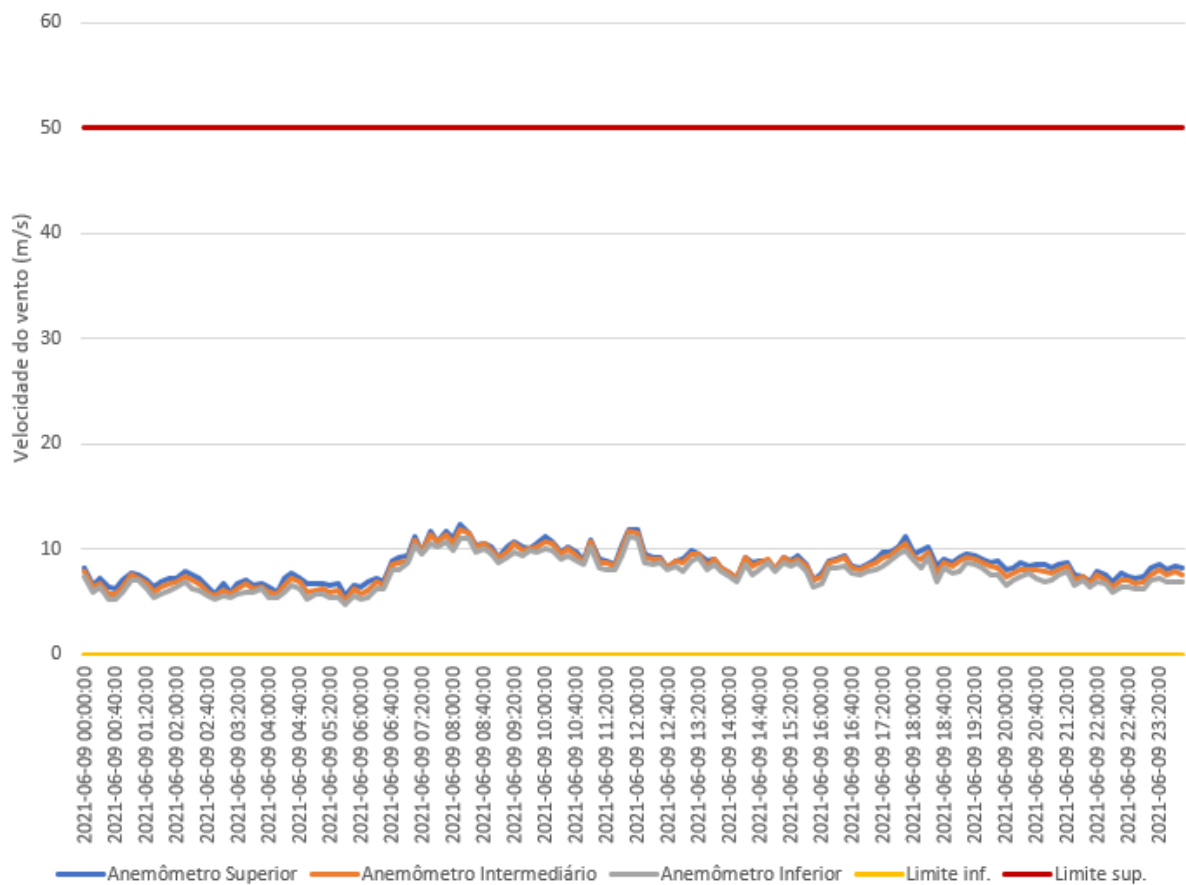
- a) Anemômetro Superior;
- b) Anemômetro Intermediário;
- c) Anemômetro Inferior;
- d) Barômetro;
- e) Termo-Higrômetro e
- f) Direção do Vento.

Diante das informações coletadas, vale lembrar que os dados enviados ao sistema AMA necessitam estar consistentes; assim, são consideradas medições implausíveis as seguintes medidas, segundo a EPE (2022, p. 11):

- a) Pressão atmosférica: $P < 800 \text{ hPa}$ ou $P > 1060 \text{ hPa}$;
- b) Temperatura: $T < -15^{\circ}\text{C}$ ou $T > 50^{\circ}\text{C}$;
- c) Umidade do ar: $U < 0 \%$ ou $U > 110 \%$;
- d) Velocidade média do vento (10 min): $V < 0 \text{ m/s}$ ou $V > 50 \text{ m/s}$.

A Figura 9 mostra que as medições de velocidade do vento registradas pelos três anemômetros (superior, intermediário e inferior) estão de acordo com os limites estipulados pela EPE, sendo eles, limite superior de 50 [m/s] e limite inferior de 0 [m/s] , pois são observados os valores de mínima para o anemômetro superior, intermediário e inferior de $5,606 \text{ [m/s]}$, $5,0599 \text{ [m/s]}$ e $4,6742 \text{ [m/s]}$, respectivamente. Assim como, os valores de máxima de $12,4061 \text{ [m/s]}$, $11,8637 \text{ [m/s]}$, e $11,2304 \text{ [m/s]}$ e, para os valores de média, de $8,5472 \text{ [m/s]}$, $8,1919 \text{ [m/s]}$ e $7,6523 \text{ [m/s]}$.

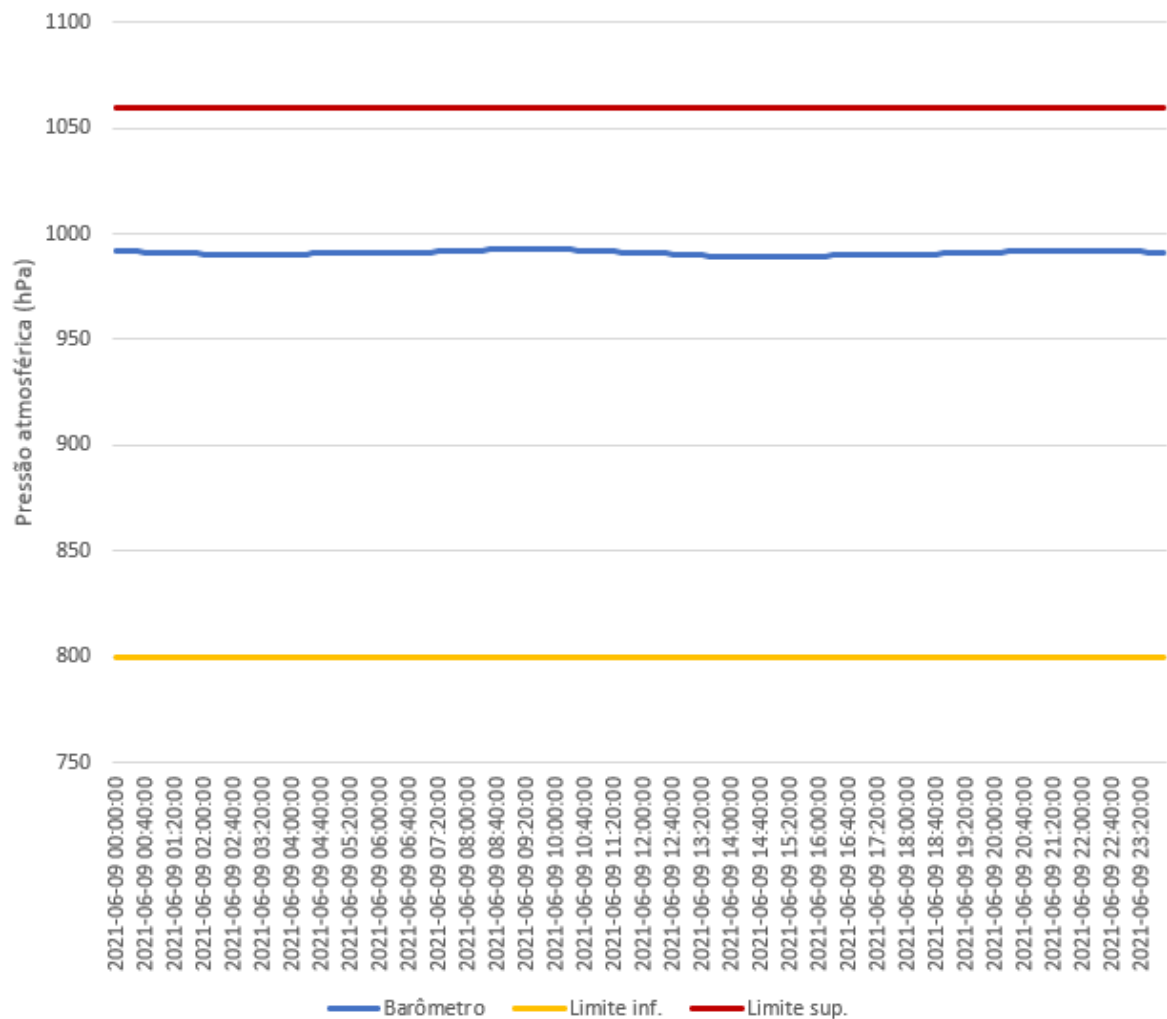
Figura 9 – Limites estipulados pela EPE referente aos anemômetros



Fonte: elaboração do autor (2022).

Na Figura 10, apresentam-se as medições de pressão atmosférica realizadas com o barômetro. Verifica-se que tais medições encontram-se em conformidade com as indicações da EPE, por atenderem aos valores mínimo e máximo estabelecidos. Os valores mínimo, médio e máximo de pressão atmosférica medidos, são 988,9859 [hPa], 990,90521 [hPa] e 992,6130 [hPa], respectivamente.

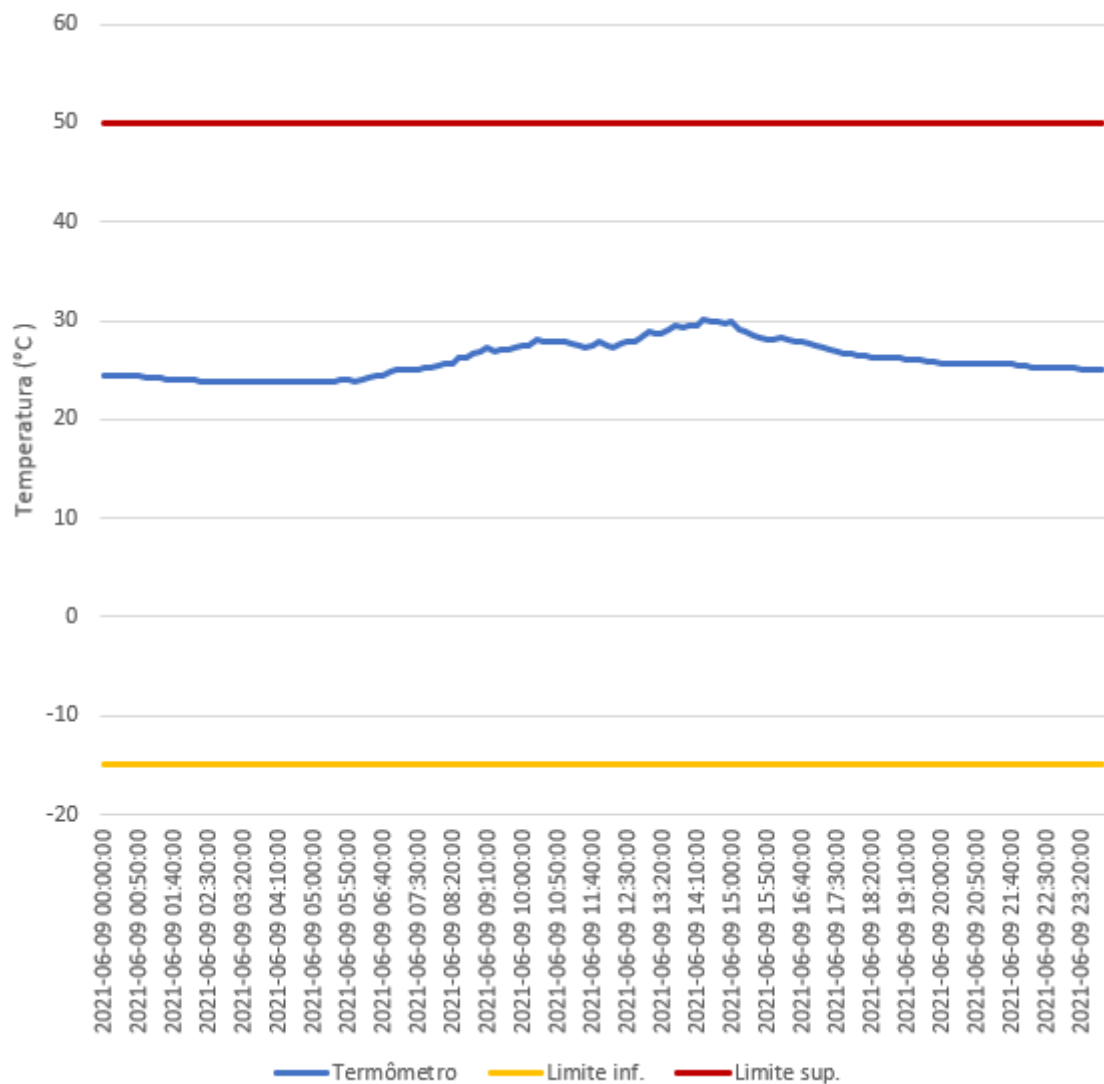
Figura 10 – Limites estipulados pela EPE referente ao barômetro



Fonte: elaboração do autor (2022).

Na Figura 11 apresentam-se os valores medidos de temperatura, verificando-se que os mesmos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela EPE. Os valores mínimo, médio e máximo de temperatura são de 23,8075 [°C], 30,0392 [°C] e 26,1016 [°C], respectivamente.

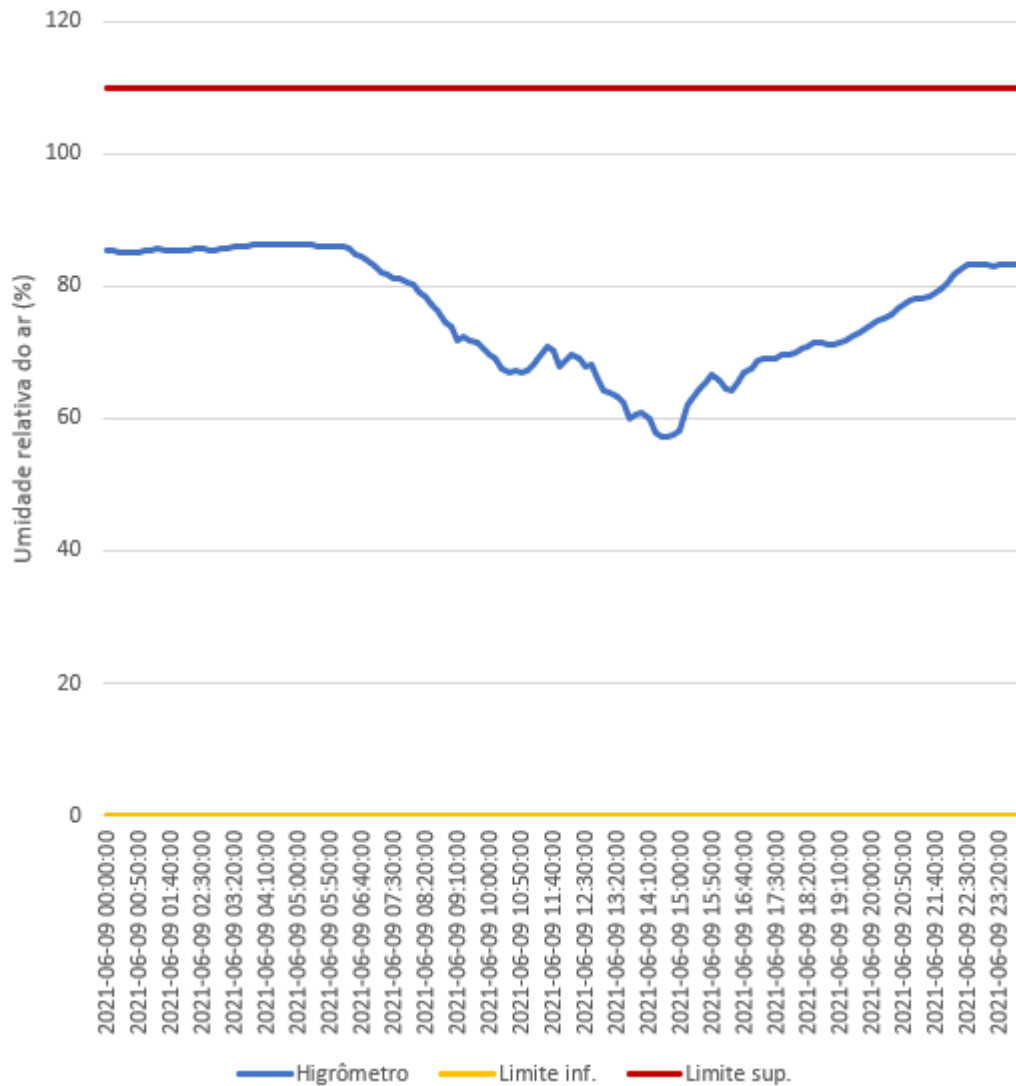
Figura 11 – Limites estipulados pela EPE referente ao termômetro



Fonte: elaboração do autor (2022).

Verificam-se na Figura 12 que as medições acerca da umidade relativa do ar, coletadas por meio do higrômetro, também se encontram dentro do estipulado pela EPE. Assim, apresentam como valores de mínima, máxima e média: 57,3261 [%], 86,3354 [%] e 75,7489 [%], respectivamente.

Figura 12 – Limites estipulados pela EPE referente ao higrômetro



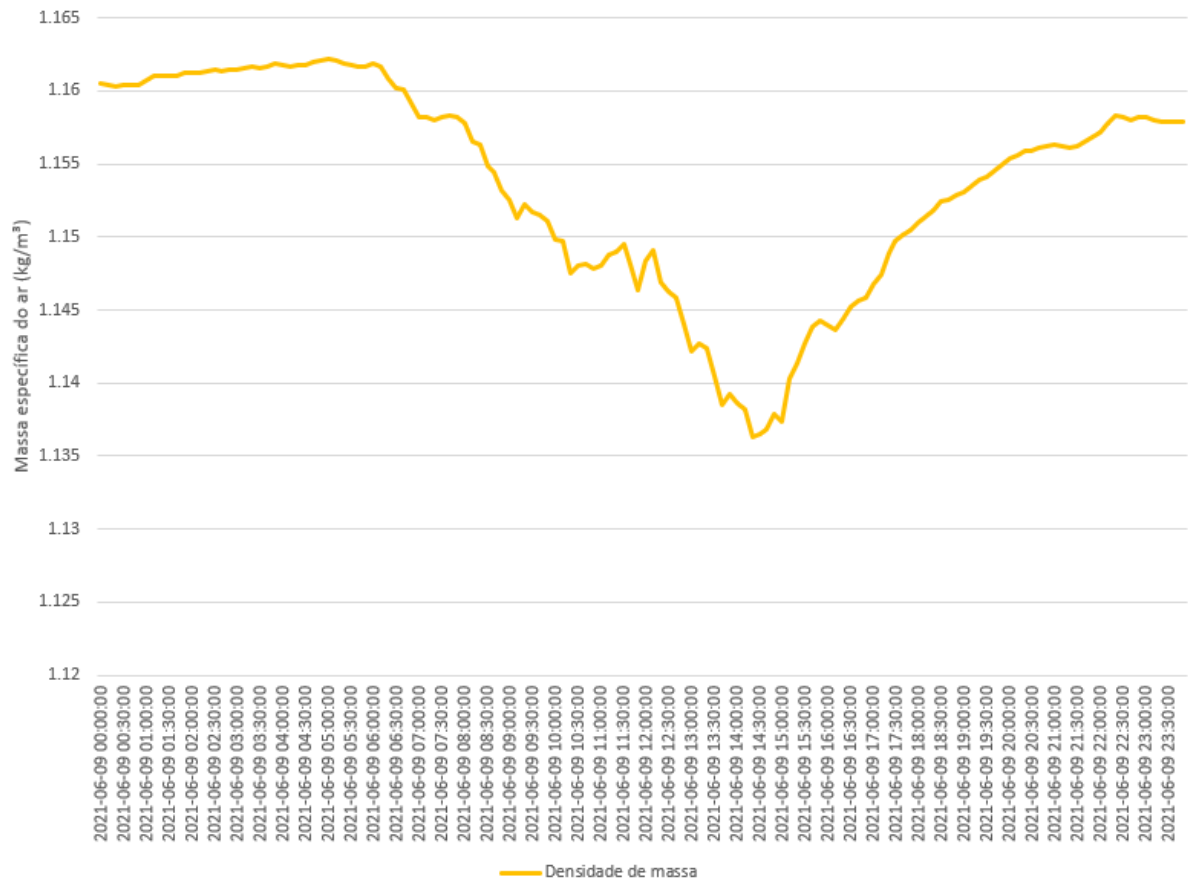
Fonte: elaboração do autor (2022).

Uma vez realizada a verificação dos dados, deve-se definir a densidade de massa do ar como uma grandeza variável no tempo, de acordo com a variação da pressão atmosférica e da temperatura, conforme a Equação 11

$$\rho(t) = \frac{P_a(t)}{RT(t)} \quad (11)$$

Após a realização dos cálculos, encontra-se a curva da massa específica do ar durante o período estudado, conforme registrado na Figura 13.

Figura 13 – Variação da massa específica do ar



Fonte: elaboração do autor (2022).

Analisando a Figura 13, verifica-se que, durante o período estudado, a massa específica do ar tem como máxima o valor de 1,1621 [kg/m³] e como mínima 1,1363 [kg/m³].

3.2 Potência eólica

Para o cálculo da potência eólica, necessita-se calcular primeiramente a área que o vento atravessa a turbina, assim, utiliza-se a equação da circunferência Equação 12, com a informação de que o raio é o comprimento da pá, ou seja, 110 metros.

$$A = \pi r^2 \quad (12)$$

Substituindo os valores, tem-se:

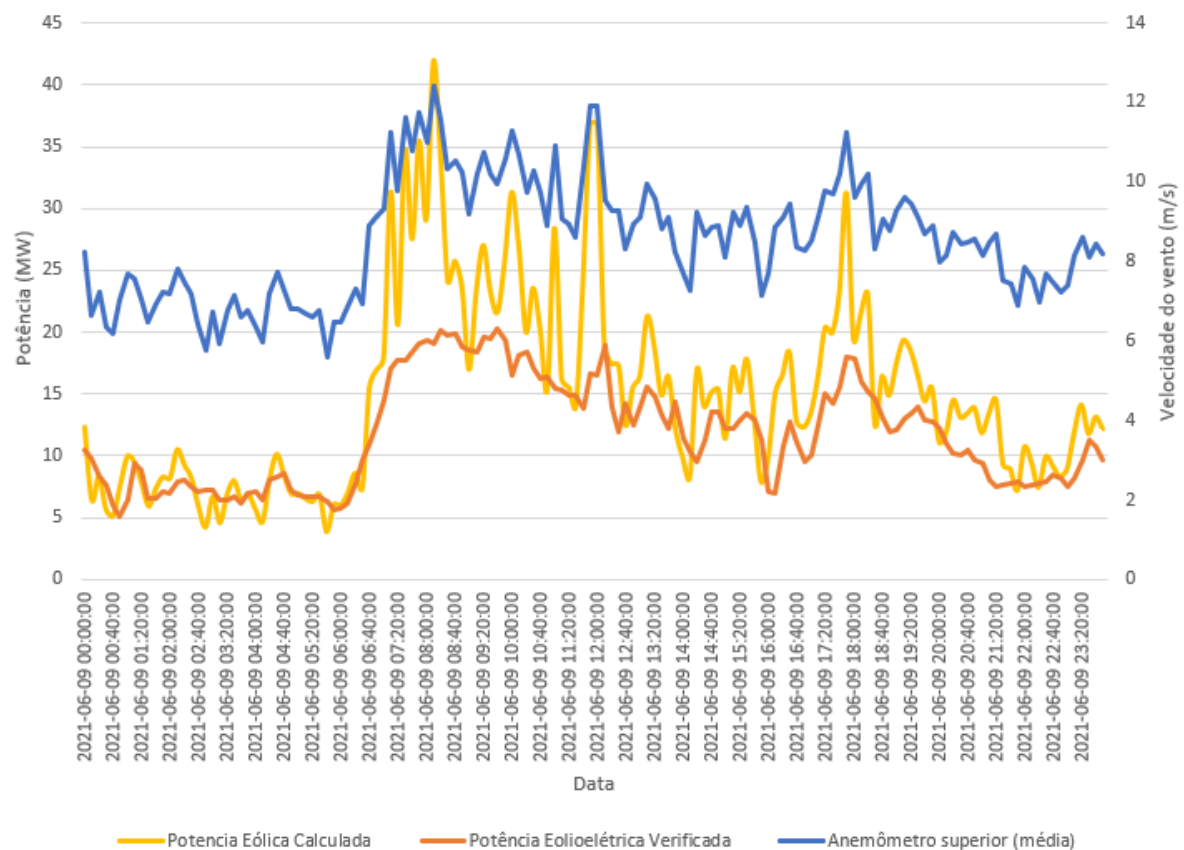
$$A = \pi 110^2 = 38.013,2711 \text{ m}^2$$

Em seguida, utiliza-se o valor encontrado na equação da circunferência para, enfim, calcular a potência eólica. Para tanto, varia-se a Equação (3), em que a área é igual a 38.013,2711 m², no tempo. Sendo que são variáveis durante o período analisado a velocidade do vento e a densidade de massa do ar, conforme observa-se na Equação 13.

$$P(t) = \frac{\rho(t)Av(t)^3}{2} \quad (13)$$

Comparando-se as curvas da potência calculada com as da potência eolioelétrica verificada, observa-se a Figura 14.

Figura 14 – Potência eólica calculada comparada com a potência eolioelétrica verificada pelo período



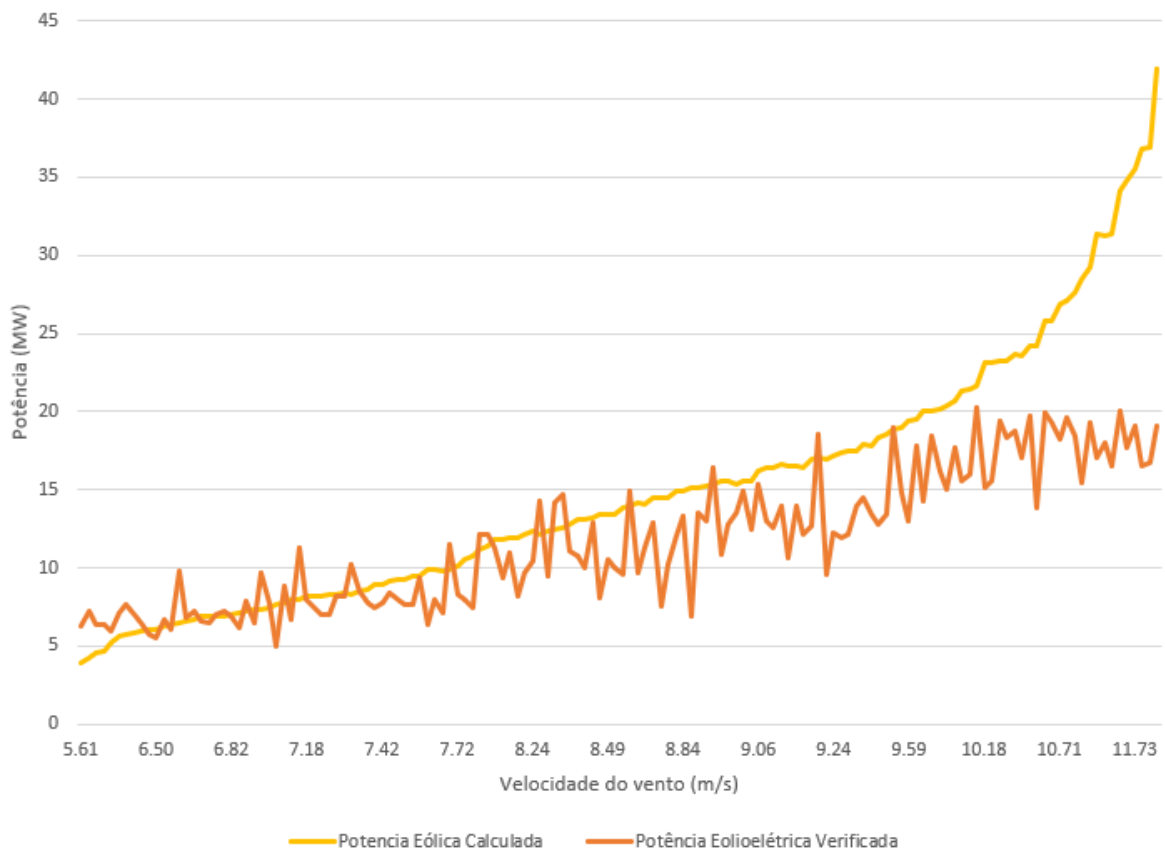
Fonte: elaboração do autor (2022).

Nesse gráfico, após analisar os valores resultantes da aplicação da Equação 13, verifica-se divergência dos valores calculados de potência eólica quando comparado aos valores de potência eolioelétrica verificada. Assim, pode-se dizer que esta diferença ocorre por alguns motivos, dentre os quais a diferença entre as informações meteorológicas obtidas na torre anemométrica e as informações que realmente atingiram o aerogerador.

Essas diferenças podem ocorrer devido à distância entre a torre anemométrica e o aerogerador. Com isso, pode-se identificar diferenças de pressão atmosférica, temperatura e velocidade do vento, três importantes variáveis que afetam diretamente a geração de potência eólica. Além dessas, deve-se entender que os aerogeradores possuem limitações de geração, bem como perdas mecânicas e elétricas, a exemplo o atrito gerado entre a pá e o rotor do aerogerador.

A Figura 15 apresenta as curvas de potência eólica calculada e eolioelétrica verificada, em função da velocidade do vento.

Figura 15 – Potência eólica calculada e potência eolioelétrica verificada pela velocidade do vento



Fonte: elaboração do autor (2022).

Diante disso, permite verificar que, a potência eólica apresenta uma coerência quando correlacionada com a potência eolioelétrica com o aumento da velocidade do vento, visto que a partir de 9 [m/s] a potência eólica escala em uma forma exponencial, isso ocorre, pois nos cálculos não possuímos o limite de geração de um aerogerador.

3.3 Implementação estatística

Visto que os cálculos de potência até aqui encontrados e apresentados estão dentro do esperado, faz sentido analisar estatisticamente quais seriam as probabilidades dessas potências serem geradas de acordo com a velocidade do vento em que elas foram registradas.

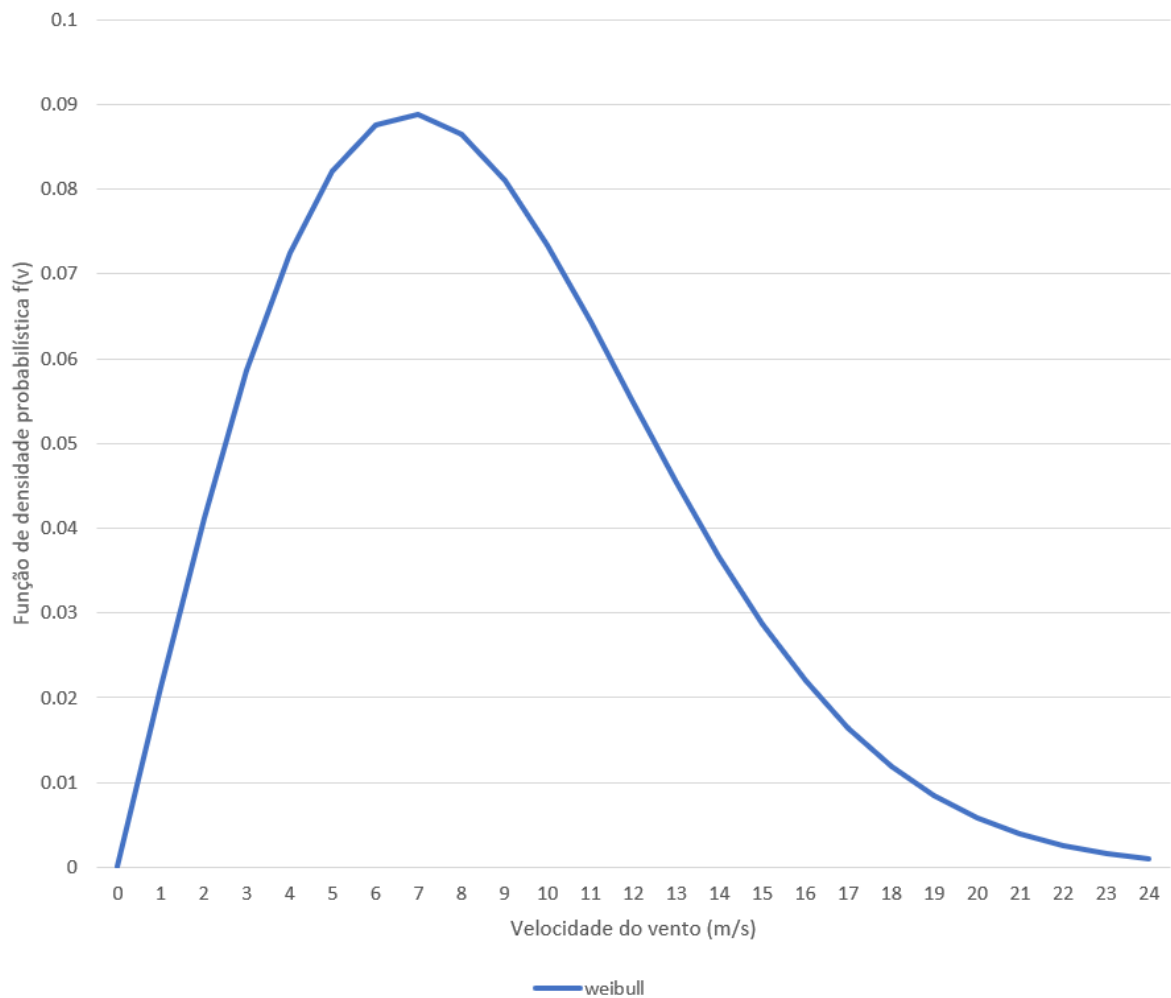
Para esta etapa, optou-se aplicar a distribuição probabilística de Weibull para modelar a velocidade do vento, que permite analisar a densidade de probabilidade, assim como a probabilidade cumulativa. Nesse contexto, o estudo aqui apresentado faz uso da distribuição de Weibull em prol da probabilidade de um valor do vento acontecer; assim como, faz uso dessa função de probabilidade cumulativa para averiguar a chance de um valor de velocidade do vento menor ou igual ao vento 'x' aleatório ocorrer.

Para tanto, utiliza-se a Equação de Weibull (8) como base, fixando o valor do fator de forma k em 2 [m/s], conforme Rinne (2008) e Pinto (2013), que afirmam ser este o valor mais habitual. Desse modo, torna-se possível utilizar a Equação de fator de escala (10), a qual considerando a velocidade média do vento no período igual a 8,54716 [m/s] para encontrar o fator de escala (adimensional).

$$c = \frac{\bar{v}}{\sqrt{\pi}} = 9,644435$$

A partir dos valores do fator de forma e do fator de escala, é possível calcular e gerar graficamente a curva de Weibull para a distribuição de densidade probabilística contínua e distribuição cumulativa para a velocidade do vento, conforme se verifica nas Figuras 16 e 17.

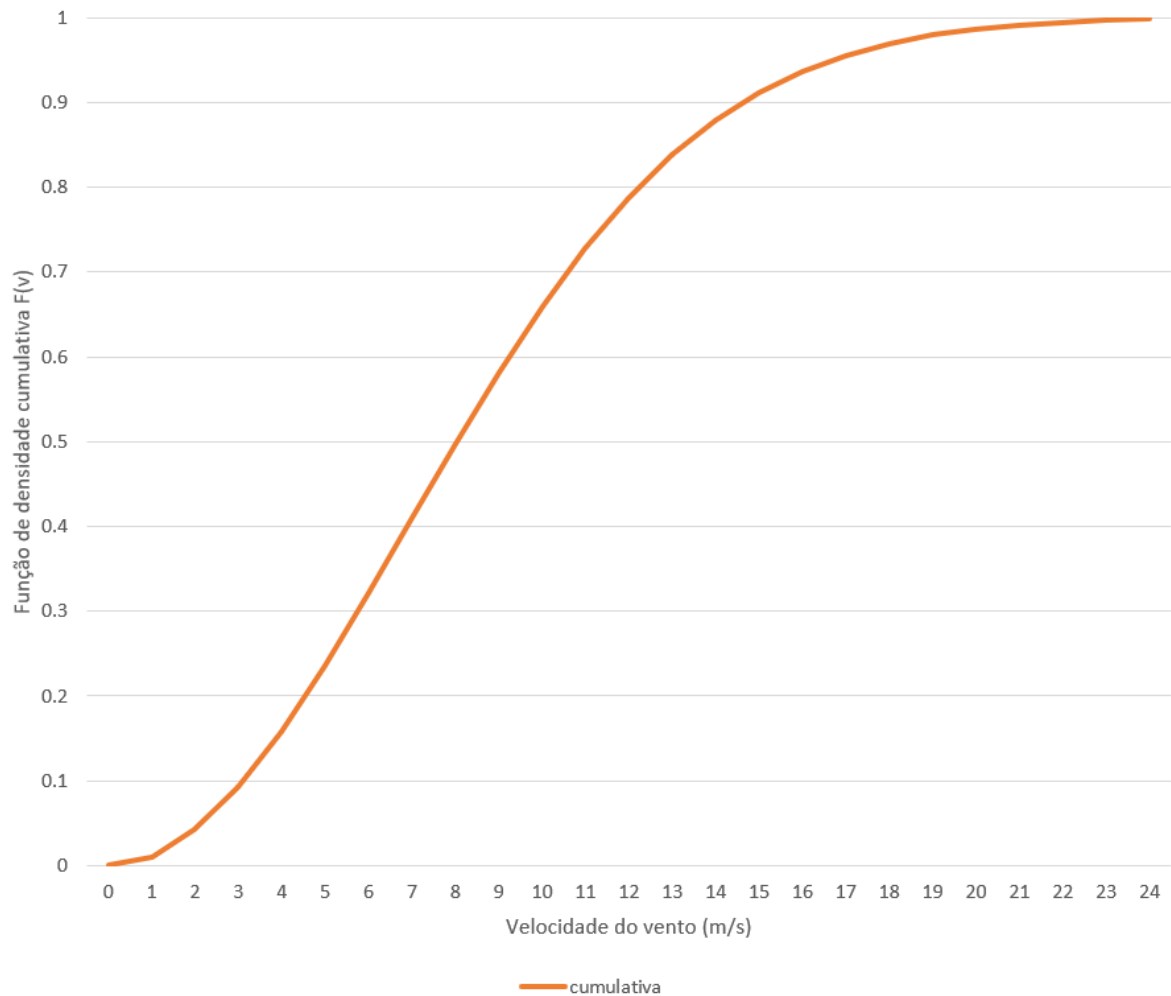
Figura 16 – Função de densidade de probabilidade calculada



Fonte: elaboração do autor (2022).

Analisando a Figura 16, é possível comparar-se com a Figura 4, de Pinto (2013), em que a curva apresenta semelhança levando em consideração que o fator de forma utilizado foi igual a 2 e o fator de escala igual para Pinto (2013) foi igual a 8, enquanto nos cálculos foi utilizado este fator de escala igual a 9,644435.

Figura 17 – Função de distribuição cumulativa calculada



Fonte: elaboração do autor (2022).

Na Figura 17, tem-se uma distribuição cumulativa que indica a probabilidade de uma velocidade de vento menor ou igual a “v” ocorrer. Dessa maneira, a curva está dentro do esperado.

Realizando os cálculos de densidade de potência eólica calculada e de distribuição cumulativa da potência calculada, pode-se verificar alguns dos valores adquiridos – vide Tabela 1.

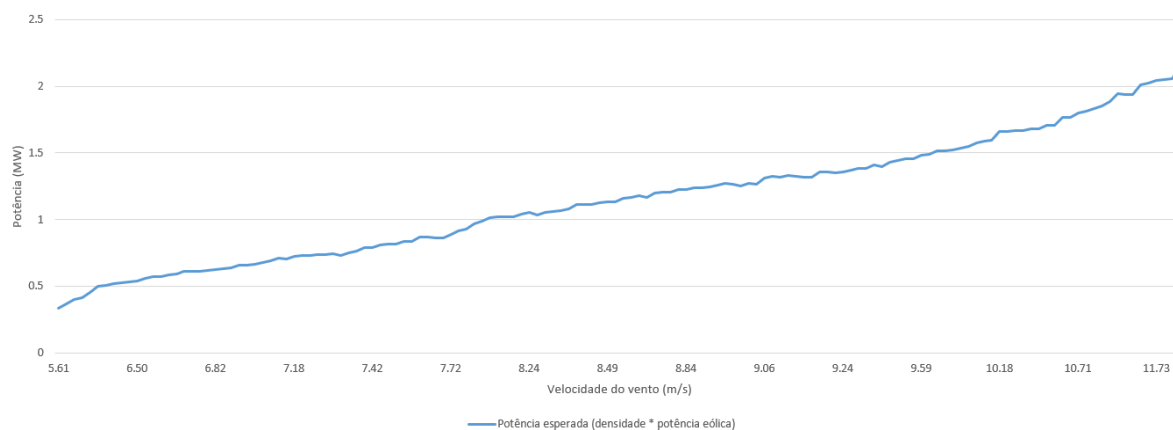
Tabela 1 – Resultado dos cálculos realizados de densidade de potência e distribuição cumulativa de potência

Velocidade do vento - m/s	Potencia eólica calculada - MW	Potencia esperada (densidade probabilística) - MW	Potência esperada (cumulativa) - MW
5,606	3,89008526	0,334466457	1,115340583
5,7783	4,258890546	0,369554472	1,284473048
5,9356	4,616977904	0,403460573	1,455719294
...	...	...	...
8,9099	15,52715196	1,267011283	8,913654314
8,9234	15,36686316	1,252585433	8,838556505
8,9347	15,57573703	1,268464011	8,973034587
...	...	...	...
11,8992	36,77426425	2,053239077	28,74925933
11,9229	36,93041405	2,053561716	28,92010248
12,4061	41,97369012	2,140255079	33,95037574

Fonte: elaboração do autor (2022).

Com base nos dados obtidos, é possível gerar a curva de densidade probabilística de geração, conforme tem-se na Figura 18.

Figura 18 – Curva da densidade probabilística de geração

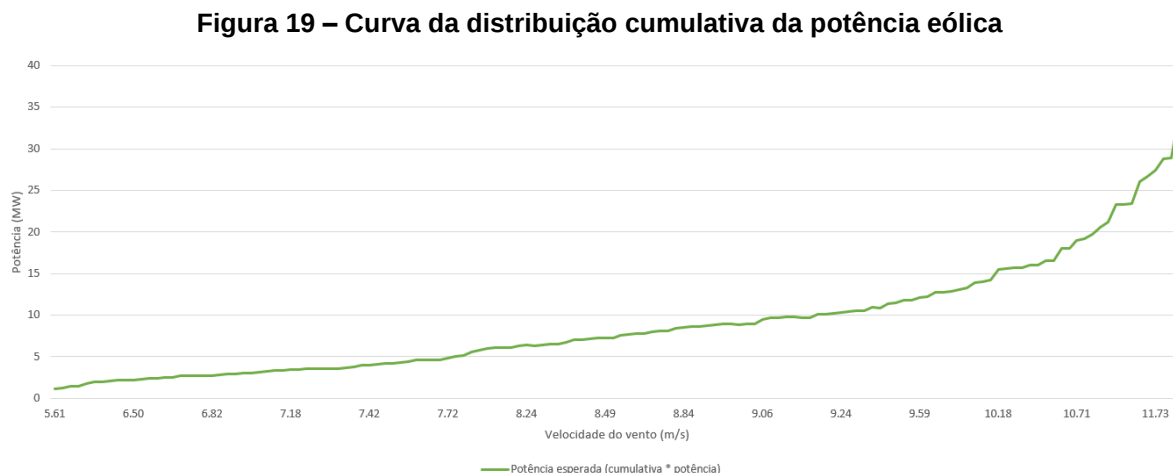


Fonte: elaboração do autor (2022).

A Figura 18 apresenta uma curva resultante da multiplicação entre a potência calculada e a densidade probabilística de Weibull. Assim, esta multiplicação retorna a potência esperada de geração para uma determinada velocidade do vento.

Extraí-se, ainda, da Figura 18 que, quando se somam os valores de potência no período estudado, alcança-se o valor de 164,8856102 [MW], ou seja, para o período analisado teríamos – como estimativa – a potência esperada para este aerogerador.

Como complemento, baseando-se nos dados obtidos da Tabela 1, torna-se possível gerar a curva de distribuição cumulativa de geração, conforme a Figura 19.



Fonte: elaboração do autor (2022).

Analisando a curva de distribuição cumulativa da potência eólica é possível verificar que a mesma se assemelha à curva da potência eólica calculada (Figura 15), sendo assim, esta curva nos informa que quando se tem uma velocidade do vento x , tem-se também a potência esperada, mas não de fato o quanto será gerado.

Ademais, extraindo o valor máximo da distribuição cumulativa, tem-se o valor de 33,9504 [MW], ou seja, o pico de potência esperada para o período estudado seria esse.

Por fim, utilizando os valores da tabela 1 é possível verificar de que o pico de potência eólica calculada para a velocidade do vento de 5,606 [m/s] foi de 0,3345 [MW] e seu pico de geração esperado seria de 1,1153 [MW].

3.4 Conclusão

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a potência eólica calculada está coerente quando comparada com a potência eolioelétrica de um aerogerador. Além disso, há uma diferença significativa quando se analisam as potências eólica e eolioelétrica em maiores velocidades do vento. É importante ressaltar que essa diferença pode estar relacionada com o fato de que para a potência calculada não

foram considerada as perdas. Assim como, observa-se também uma diferença devido à temperatura, à pressão e à velocidade do vento, registrados em virtude da localização da torre escolhida para este estudo.

Ademais, utiliza-se como segunda etapa deste estudo a função probabilística de Weibull, em que é possível analisar, através da densidade probabilística, a possibilidade de se existir um vento com a velocidade x , bem como de, utilizando a função cumulativa, descobrir a existência de um vento menor ou igual a velocidade x . Dessa maneira, após encontrar as curvas de densidade probabilística e cumulativa de Weibull, Figura 16 e Figura 17, calculou-se os valores de potência esperada para cada velocidade do vento, o que levou à conclusão de que essas curvas são importantes devido à previsibilidade de geração quando utilizados dados climatológicos, assim como a possibilidade da realização de estudos de desempenho do parque eólicoelétrico quando analisado com os demais aerogeradores inclusos na conta.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O cenário atual clama pela preservação do meio ambiente, o que está atrelado à produção de uma energia limpa, sustentável, renovável, como a resultante da ação do vento. Nesse contexto, verifica-se uma busca exponencial por novas formas de produção de energia limpa, como a eólica.

Nos últimos cinco anos, observa-se um aumento tanto na procura quanto na evolução e na instalação de parques eolioelétricos. Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (2022), o potencial de geração de energia eólica *onshore* no Brasil é de 500 GW, ou seja, mais de três vezes do que é atualmente produzido.

Ciente disso, propôs-se a realização deste estudo, através do qual se constatou que a geração de energia por aerogeradores depende de uma gama de fatores, entre os quais a localização, a velocidade do vento, a pressão atmosférica e a temperatura. Desse modo, para uma produção de energia de alto rendimento, conta-se com um local adequado para sua instalação, o que está intrinsecamente relacionado à incidência do vento. E, é justamente a ação deste na torre anemométrica que permite o cálculo do potencial eólico, dado importante para um melhor aproveitamento da capacidade do mesmo.

Entende-se que o ar em movimento, denominado vento, resulta das oscilações e/ou diferenças da pressão atmosférica e das temperaturas dos locais em que se encontram instaladas as torres anemométricas. A circulação e a duração desse vento são aspectos relevantes no que tange à obtenção de energia eólica.

Dessa forma, apresentou-se aqui uma análise acerca do potencial do vento em uma torre anemométrica de um parque eolioelétrico. Para tanto, utilizou-se o instrumento Data logger, indicado como o ideal pela EPE para estudos como este, pois se trata de um equipamento, localizado no pé da torre anemométrica, que é capaz de armazenar as medições para ele enviadas. O anemômetro, por sua vez, é responsável pela medição da velocidade do vento, o que possibilita que se mensure a potência eólica e, conseqüentemente, se faça uma programação que resulte em melhor aproveitamento de recursos, custos e, assim, produção de energia renovável.

Neste trabalho, utilizou-se um parque eólico fictício baseado em dados anemométricos possíveis de serem encontrados em parques já existentes, pois, assim, tornou-se possível a análise das potências eólica calculada e potência eólica verificada. Observou-se que a diferença de valores acontece e isto ocorre por diversos fatores, alguns dos quais não foram considerados nos cálculos, como, por exemplo, a distância entre a torre anemométrica e o aerogerador, diferentes informações climatológicas, perdas existentes no processo de geração de energia e capacidade máxima de geração do aerogerador.

Por fim, ao se fazer a implementação estatística com o método de Weibull, observou-se a densidade probabilística e a distribuição cumulativa. A primeira retorna a probabilidade de potência esperada para uma certa velocidade. Já, a segunda mostra qual a potência esperada para uma velocidade menor ou igual à velocidade X . Concluiu-se, assim, que, para o local estudado, a produção de energia eólica apresenta-se consistente para um aerogerador.

Cabe esclarecer que ainda há muitos aspectos que podem – e devem – ser levados em consideração, como sugestão de trabalhos futuros, tais como análise dos fatores que podem ter gerado as diferenças entre as potências eólica calculada e potência eólica verificada, a comparação de mais de um aerogerador em parques eólicos semelhantes, principalmente se considerado o efeito esteira. Logo, este estudo não se encerra por aqui, mas sim abre as portas para novos estudos a serem desenvolvidos, afinal se trata de uma energia em amplo crescimento devido suas características benéficas ao meio ambiente, ao homem e, conseqüentemente, ao futuro de nosso planeta.

REFERÊNCIAS

ATAÍDE et al. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal [online]**. 2015, v. 25, n. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509818472>. Acesso em: 12 ago. 2021

AMMONIT. **Meteo-40A plus Data Logger**. Ammonit, 2021. Disponível em: https://www.ammonit.com/en/products/data-loggers/meteo-40-plus/product-details/meteo-40a/documents/121-meteo-40a_plus.pdf. Acesso em: 30 out. 2022.

BREEZE, Paul. **Wind Power Generation**. United Kingdom: Elsevier, 2016. ISBN: 978-0-12-804038-6

BREEZE, Paul. **Power Generation Technologies**. 3a ed. United Kingdom: Elsevier, 2019. ISBN: 978-0-08-102631-1

CAMPISI-PINTO, Salvatore; GIANCHANDANI, Kaushal; ASHKENAZY, Yosef. **Statistical tests for the distribution of surface wind and current speeds across the globe**. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119319135>. Acesso em: 06 jun. 2022.

CORRADI, Wagner et al. **Fundamentos da Física I**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2009. 280 p., il. Inclui bibliografia. ISBN 9788587083098.

DAI, Juchuan et al. **Research on power coefficient of wind turbines based on SCADA data**. ScienceDirect, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115302238?via%3Di> hub. Acesso em: 13 nov. 2022.

DUTRA, Ricardo. (org.). **Energia Eólica: Princípios e Tecnologia**. Rio de Janeiro: Cepel, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_ebook.pdf. Acesso em: 01 jul. 2021.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relatório%20Síntese%20BEN%202021-ab%202020_v2.pdf. Acesso em: 02 jul. 2021.

EPE. **Estudos para a Expansão da Geração**. Leilões de Energia: Manual do Usuário do Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas – AMA. Distrito Federal, 2022. 2ed. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/acesso->

restrito/Documents/DEE_057_16_Instru%c3%a7%c3%b5es%20Medi%c3%a7%c3%b5es%20Anemom%c3%a9tricas_r3.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.

EPE. **Estudos para a Licitação da Expansão da Geração**. Leilões de Energia: Manual do Usuário do Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas – AMA. Distrito Federal, 16 dez. 2016a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/acesso-restrito/Documents/DEE_108_16_Manual%20do%20Sistema%20AMA.pdf. Acesso em: 02 jul. 2021.

EPE. **Estudos para a Licitação da Expansão da Geração**. Leilões de Energia: Instruções para as Medições Anemométricas e Climatológicas em Parques Eólicos. Distrito Federal, 02 dez. 2016b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/acesso-restrito/Documents/DEE_057_16_Instruções%20Medições%20Anemométricas_r1.pdf. Acesso em: 02 jul. 2021.

EPE. **Instalação de Estações Anemométricas Boas Práticas**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/acesso-restrito/Documents/Guia%20Boas%20Práticas%20Estações%20Anemométricas.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.

FUKE, Luiz Felipe e YAMAMO, Carlos Tadashi Kazuhito. **Os alicerces da Física: Mecânica – Termologia, Óptica, Ondulatória – Eletricidade**. São Paulo: Saraiva, 1993.

GHOSH, S. K.; SHAWON, M. H.; RAHMAN, M. A.; NATH, S. K. Wind energy assessment using Weibull Distribution in coastal areas of Bangladesh, 2014. **3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)**, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICDRET.2014.6861731. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6861731>. Acesso em: 09 ago. 2021.

HOLLAWAY, L.C. **Sustainable energy production: key material requirements**. In: Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications, Woodhead Publishing. United Kingdom – South Wales: Jiping Bai, 2013. ISBN 978-0-85709-418-6.

KAPEN, Pascalín Tiam; GOUAIJO, Marinette Jeutho; YEMÉLÉ, David. **Analysis and efficient comparison of ten numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy potential: Application to the city of Bafoussam, Cameroon, Renewable Energy**. Volume 159. 2020, p.1188-1198, ISSN 0960-1481. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.185>. Acesso em: 03 ago. 2021.

KINTECH. **Thies First Class Wind Vane (TMR)**. Kintech, 2021. Disponível em: https://www.kintech-engineering.com/pdf_docs/EN_ThiesFC_WindVane_TMR.pdf. Acesso em: 03 out. 2022.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A; e PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física [online]**. 2008, v. 30, n. 1, pp.

1304.1-1304.13. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000100005>. Acesso em: 11 ago. 2021

O Setor. **ABEEólica**, 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

Onshore vs offshore wind energy: what's the difference? National Grid, 2022. Disponível em: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/onshore-vs-offshore-wind-energy>. Acesso em: 10 nov. 2022.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 368 p., il., 28 cm. Inclui bibliografia. ISBN 9788521621607.

RINNE, Horst. **The Weibull Distribution: A Handbook**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2008. 784 p.

ROSA, Flávio; HAYDT, Gustavo; LOPES, Juarez, EPE. **Reliability indexes of wind farms in Brazil**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/aceso-restrito/Documents/2015%20-%20DEWEK%20_Reliability%20Indexes%20of%20Wind%20Farms%20in%20Brazil.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

SILVA, Patrícia de Castro; GUEDES, Vanessa Gonçalves; ARAÚJO, Maria Regina Pereira de; HIRATA, Miguel Hiroo. **Otimização dos Parâmetros da Distribuição de Weibull**. 22 – 26 nov. 1999. São Paulo. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/aaciih.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SMT DO BRASIL. **Torre Autoportante | Triangular**. Disponível em: <https://stmdobrasil.com.br/obras/torre-autoportante-triangular/>. Acesso em: 13 ago. 2021a.

SMT DO BRASIL. **Torre Estaiada**. Disponível em: <https://stmdobrasil.com.br/obras/torre-estaiada/>. Acesso em: 13 ago. 2021b

ANEXOS

DataIndex	Anemómetro Superio (media)			Anemómetro Superio (max)			DataIndex			Anemómetro Superio (media)			Anemómetro Superio (max)		
	Anemómetro Superio (media)	Anemómetro Superio (max)	Anemómetro Superio (min)	Anemómetro Superio (media)	Anemómetro Superio (max)	Anemómetro Superio (min)	Anemómetro Superio (media)	Anemómetro Superio (max)	Anemómetro Superio (min)	Anemómetro Superio (media)	Anemómetro Superio (max)	Anemómetro Superio (min)	Anemómetro Superio (media)	Anemómetro Superio (max)	Anemómetro Superio (min)
2021-06-09 01:00	6.237	13.575	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 08:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 15:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 02:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 09:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 16:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 03:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 10:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 17:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 04:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 11:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 18:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 05:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 12:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 19:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 06:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 13:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 20:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 07:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 14:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 21:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 08:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 15:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 22:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 09:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 16:00	10.968	14.070	7.989	2021-06-09 23:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 10:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 17:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 24:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 11:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 18:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 25:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 12:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 19:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 26:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 13:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 20:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 27:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 14:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 21:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 28:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 15:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 22:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 29:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 16:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 23:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 30:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 17:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 24:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 31:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 18:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 25:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 32:00	7.975	12.349	5.585	5.733
2021-06-09 19:00	6.381	9.9075	4.683	10.969	19.905	6.381	2021-06-09 26:00	7.975	12.349	5.585	2021-06-09 33:00	7.975	12.349	5.585	5.73

[illegible]

ANEXO D – DADOS DE DIREÇÃO DO VENTO SUPERIOR E INFERIOR

Date/time	Direção do vento superior (média)	Direção do vento inferior (média)	Date/time	Direção do vento superior (média)	Direção do vento inferior (média)	Date/time	Direção do vento superior (média)	Direção do vento inferior (média)
2021-06-09 00:00:00	132 844	129 5737	2021-06-09 08:00:00	132 7425	129 5415	2021-06-09 16:00:00	132 6063	98 7828
2021-06-09 01:00:00	126 3001	129 2937	2021-06-09 09:00:00	129 2937	126 1632	2021-06-09 17:00:00	112 9074	110 6857
2021-06-09 02:00:00	128 9329	126 1537	2021-06-09 10:00:00	126 1537	122 354	2021-06-09 18:00:00	114 6353	111 3611
2021-06-09 03:00:00	133 1962	133 7898	2021-06-09 11:00:00	137 6292	135 394	2021-06-09 19:00:00	105 1796	101 9789
2021-06-09 04:00:00	133 8348	130 9439	2021-06-09 12:00:00	129 71	127 8279	2021-06-09 20:00:00	102 7769	99 4616
2021-06-09 05:00:00	137 5535	134 5376	2021-06-09 13:00:00	127 0372	125 2162	2021-06-09 21:00:00	97 8242	94 8855
2021-06-09 06:00:00	140 202	138 8962	2021-06-09 14:00:00	127 5988	125 1053	2021-06-09 22:00:00	103 0742	99 9054
2021-06-09 07:00:00	142 6246	141 9625	2021-06-09 15:00:00	141 9625	141 0093	2021-06-09 23:00:00	95 9546	93 4079
2021-06-09 08:00:00	136 6134	132 3648	2021-06-09 16:00:00	132 3648	128 5114	2021-06-09 24:00:00	107 6285	97 6794
2021-06-09 09:00:00	136 6134	132 3648	2021-06-09 17:00:00	132 3648	128 5114	2021-06-09 25:00:00	107 6285	97 6794
2021-06-09 10:00:00	144 1181	133 8694	2021-06-09 18:00:00	130 7482	128 781	2021-06-09 26:00:00	104 2764	101 5615
2021-06-09 11:00:00	140 2159	138 0239	2021-06-09 19:00:00	128 0239	125 1863	2021-06-09 27:00:00	104 9854	101 5615
2021-06-09 12:00:00	143 4397	139 7423	2021-06-09 20:00:00	119 7423	116 5598	2021-06-09 28:00:00	107 9817	106 9161
2021-06-09 13:00:00	144 0889	141 3588	2021-06-09 21:00:00	119 8774	117 5981	2021-06-09 29:00:00	110 8823	108 0079
2021-06-09 14:00:00	143 0728	139 1446	2021-06-09 22:00:00	128 0179	128 0317	2021-06-09 30:00:00	109 5888	105 4948
2021-06-09 15:00:00	138 8593	137 4205	2021-06-09 23:00:00	134 411	133 5757	2021-06-09 31:00:00	105 0585	106 9134
2021-06-09 16:00:00	135 1467	132 0388	2021-06-09 24:00:00	125 3747	122 6453	2021-06-09 32:00:00	109 922	106 7321
2021-06-09 17:00:00	138 1307	135 2674	2021-06-09 25:00:00	126 7882	124 331	2021-06-09 33:00:00	109 4588	107 3865
2021-06-09 18:00:00	137 43	134 7823	2021-06-09 26:00:00	122 5318	117 8623	2021-06-09 34:00:00	107 572	103 707
2021-06-09 19:00:00	139 1156	135 0371	2021-06-09 27:00:00	117 4477	113 4212	2021-06-09 35:00:00	108 1291	106 283
2021-06-09 20:00:00	136 6423	133 5393	2021-06-09 28:00:00	116 945	114 1014	2021-06-09 36:00:00	108 0367	105 6512
2021-06-09 21:00:00	135 9813	132 4549	2021-06-09 29:00:00	121 0858	117 5123	2021-06-09 37:00:00	109 1996	105 9968
2021-06-09 22:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 30:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 38:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 23:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 31:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 39:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 24:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 32:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 40:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 25:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 33:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 41:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 26:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 34:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 42:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 27:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 35:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 43:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 28:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 36:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 44:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 29:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 37:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 45:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 30:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 38:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 46:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 31:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 39:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 47:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 32:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 40:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 48:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 33:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 41:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 49:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 34:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 42:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 50:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 35:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 43:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 51:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 36:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 44:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 52:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 37:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 45:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 53:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 38:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 46:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 54:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 39:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 47:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 55:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 40:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 48:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 56:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 41:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 49:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 57:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 42:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 50:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 58:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 43:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 51:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 59:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 44:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 52:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 60:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 45:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 53:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 61:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 46:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 54:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 62:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 47:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 55:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 63:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 48:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 56:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 64:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 49:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 57:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 65:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 50:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 58:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 66:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 51:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 59:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 67:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 52:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 60:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 68:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 53:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 61:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 69:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 54:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 62:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 70:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 55:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 63:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 71:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 56:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 64:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 72:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 57:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 65:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 73:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 58:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 66:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 74:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 59:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 67:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 75:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 60:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 68:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 76:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 61:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 69:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 77:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 62:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 70:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 78:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 63:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 71:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 79:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 64:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 72:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 80:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 65:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 73:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 81:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 66:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 74:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 82:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 67:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 75:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 83:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 68:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 76:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 84:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 69:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 77:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 85:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 70:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 78:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 86:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 71:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 79:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 87:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 72:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 80:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 88:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 73:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 81:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 89:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 74:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 82:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 90:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 75:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 83:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 91:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 76:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 84:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 92:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 77:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 85:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 93:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 78:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 86:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 94:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 79:00:00	136 2432	132 6737	2021-06-09 87:00:00	125 859	122 2623	2021-06-09 95:00:00	108 8903	105 36
2021-06-09 80:00:00	136 2432	132 6737						

ANEXO E – DADOS DO HIGRÔMETRO

Datetime	Umidade (máx)	Umidade (média)	Umidade (mín)	Date/time	Umidade (máx)	Umidade (média)	Umidade (mín)	Date/time	Umidade (máx)	Umidade (média)	Umidade (mín)
2021-06-09 00:00:00	85.3687		85.2077	2021-06-09 00:00:00	80.3478		79.3481	2021-06-09 16:00:00	65.7124		65.3096
2021-06-09 00:10:00	85.2675		85.1772	2021-06-09 00:10:00	79.8869		79.8869	2021-06-09 16:10:00	64.4982		64.0889
2021-06-09 00:20:00	85.3988		85.3117	2021-06-09 00:20:00	78.9444		78.9444	2021-06-09 16:20:00	65.4072		65.0000
2021-06-09 00:30:00	85.1772		85.0901	2021-06-09 00:30:00	78.9444		78.9444	2021-06-09 16:30:00	65.3005		64.8968
2021-06-09 00:40:00	85.2892		85.2021	2021-06-09 00:40:00	77.1986		75.869	2021-06-09 16:40:00	66.4388		66.0300
2021-06-09 00:50:00	85.1351		85.0480	2021-06-09 00:50:00	76.2301		75.5333	2021-06-09 16:50:00	66.3951		66.3778
2021-06-09 01:00:00	85.382		85.0246	2021-06-09 01:00:00	75.5333		75.5333	2021-06-09 17:00:00	67.4806		67.1712
2021-06-09 01:10:00	85.2892		85.0316	2021-06-09 01:10:00	74.6187		73.0308	2021-06-09 17:10:00	68.1783		67.8690
2021-06-09 01:20:00	85.4712		85.1282	2021-06-09 01:20:00	73.0308		71.4514	2021-06-09 17:20:00	68.1783		67.8690
2021-06-09 01:30:00	85.655		85.328	2021-06-09 01:30:00	71.4514		70.724	2021-06-09 17:30:00	69.1508		68.8182
2021-06-09 01:40:00	85.4273		85.4273	2021-06-09 01:40:00	70.724		70.724	2021-06-09 17:40:00	69.277		69.0024
2021-06-09 01:50:00	85.3603		85.434	2021-06-09 01:50:00	72.2514		70.864	2021-06-09 17:50:00	69.1887		69.0329
2021-06-09 02:00:00	85.5434		85.2382	2021-06-09 02:00:00	71.3187		70.3146	2021-06-09 18:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 02:10:00	85.4023		85.2892	2021-06-09 02:10:00	70.3146		69.5771	2021-06-09 18:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 02:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 02:20:00	69.5771		68.8182	2021-06-09 18:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 02:30:00	85.4173		85.2892	2021-06-09 02:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 18:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 02:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 02:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 18:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 02:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 02:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 18:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:10:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:10:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:20:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:30:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 03:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 03:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 19:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:10:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:10:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:20:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:30:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 04:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 04:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 20:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:10:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:10:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:20:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:30:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 05:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 05:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 21:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:10:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:10:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:20:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:30:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 06:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 06:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 22:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:00:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:10:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:10:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:10:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:20:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:20:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:20:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:30:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:30:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:30:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:40:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:40:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:40:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 07:50:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 07:50:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 23:50:00	69.5771		69.3086
2021-06-09 08:00:00	85.4712		85.2892	2021-06-09 08:00:00	68.8182		68.8182	2021-06-09 24:00:00	69.5771		69.3086

ANEXO F – DADOS DO TERMÔMETRO

Dateline	Temperatura (módia)	Temperatura (max)	Temperatura (min)	Dateline	Temperatura (módia)	Temperatura (max)	Temperatura (min)	Dateline	Temperatura (módia)	Temperatura (max)	Temperatura (min)
2021-06-09 00:00:00	24.47441	24.51626	24.42061	2021-06-09 08:00:00	26.37704	26.65866	25.15915	2021-06-09 16:00:00	28.18872	28.25584	28.11945
2021-06-09 00:10:00	24.48951	24.51926	24.44197	2021-06-09 08:10:00	25.67137	25.73595	25.69167	2021-06-09 16:10:00	28.27946	28.33918	28.17133
2021-06-09 00:20:00	24.49915	24.52009	24.45151	2021-06-09 08:20:00	26.34022	26.40480	26.30058	2021-06-09 16:20:00	27.88263	27.94235	27.82291
2021-06-09 00:30:00	24.48927	24.52853	24.42961	2021-06-09 08:30:00	26.20934	26.34022	26.05946	2021-06-09 16:30:00	27.88263	28.02179	27.73197
2021-06-09 00:40:00	24.47807	24.52132	24.39704	2021-06-09 08:40:00	26.33425	26.59658	26.17542	2021-06-09 16:40:00	27.79448	27.74712	27.74712
2021-06-09 00:50:00	24.42764	24.4808	24.34126	2021-06-09 08:50:00	26.63892	26.81936	26.53249	2021-06-09 16:50:00	27.71982	27.83563	27.60908
2021-06-09 01:00:00	24.38819	24.43982	24.33819	2021-06-09 09:00:00	26.83921	27.15507	26.48976	2021-06-09 17:00:00	27.47934	27.53855	27.41142
2021-06-09 01:10:00	24.33034	24.39182	24.27824	2021-06-09 09:10:00	26.83921	27.15507	26.48976	2021-06-09 17:10:00	27.47934	27.53855	27.41142
2021-06-09 01:20:00	24.20698	24.26846	24.10627	2021-06-09 09:20:00	26.90848	27.1337	26.71865	2021-06-09 17:20:00	26.89842	27.15507	26.65904
2021-06-09 01:30:00	24.14616	24.20698	24.04218	2021-06-09 09:30:00	27.05889	27.1337	26.85926	2021-06-09 17:30:00	26.80881	26.90787	26.70644
2021-06-09 01:40:00	24.11237	24.17319	24.01839	2021-06-09 09:40:00	27.14629	27.38935	26.90787	2021-06-09 17:40:00	26.75832	26.82088	26.62088
2021-06-09 01:50:00	24.08116	24.14198	24.02716	2021-06-09 09:50:00	27.14629	27.38935	26.90787	2021-06-09 17:50:00	26.75832	26.82088	26.62088
2021-06-09 02:00:00	24.00861	24.06943	23.93465	2021-06-09 10:00:00	27.1325	27.38935	27.00084	2021-06-09 18:00:00	26.6332	26.6332	26.45314
2021-06-09 02:10:00	23.93306	23.97504	23.88822	2021-06-09 10:10:00	27.5491	27.94244	27.39311	2021-06-09 18:10:00	26.44452	26.52333	26.36463
2021-06-09 02:20:00	23.89399	23.94452	23.84452	2021-06-09 10:20:00	28.12744	28.30651	27.91803	2021-06-09 18:20:00	26.35049	26.45314	26.25477
2021-06-09 02:30:00	23.84686	23.89686	23.79448	2021-06-09 10:30:00	27.92346	28.26594	27.68304	2021-06-09 18:30:00	26.26365	26.31886	26.20899
2021-06-09 02:40:00	23.84686	23.89686	23.79448	2021-06-09 10:40:00	27.92346	28.26594	27.68304	2021-06-09 18:40:00	26.26365	26.31886	26.20899
2021-06-09 02:50:00	23.84686	23.89686	23.79448	2021-06-09 10:50:00	27.92346	28.26594	27.68304	2021-06-09 18:50:00	26.26365	26.31886	26.20899
2021-06-09 03:00:00	23.89398	23.94452	23.84452	2021-06-09 11:00:00	27.92346	28.26594	27.68304	2021-06-09 19:00:00	26.26365	26.31886	26.20899
2021-06-09 03:10:00	23.849	23.88653	23.78803	2021-06-09 11:10:00	27.80267	27.91192	27.57927	2021-06-09 19:10:00	26.1792	26.24256	26.09912
2021-06-09 03:20:00	23.849	23.88653	23.78803	2021-06-09 11:20:00	27.53953	27.67983	27.45415	2021-06-09 19:20:00	26.09986	26.16627	26.02883
2021-06-09 03:30:00	23.849	23.88653	23.78803	2021-06-09 11:30:00	27.53953	27.67983	27.45415	2021-06-09 19:30:00	26.09986	26.16627	26.02883
2021-06-09 03:40:00	23.89789	23.93978	23.79498	2021-06-09 11:40:00	27.31152	27.43932	27.16117	2021-06-09 19:40:00	26.04419	26.11151	25.96811
2021-06-09 03:50:00	23.85292	23.89874	23.80974	2021-06-09 11:50:00	27.57252	28.01284	27.35038	2021-06-09 19:50:00	25.99526	25.93972	25.93972
2021-06-09 04:00:00	23.81663	23.86141	23.76141	2021-06-09 12:00:00	27.98341	28.15302	27.68914	2021-06-09 20:00:00	25.81137	25.90381	25.72985
2021-06-09 04:10:00	23.88064	23.92864	23.78803	2021-06-09 12:10:00	27.44708	27.72881	27.2161	2021-06-09 20:10:00	25.74848	25.80992	25.69628
2021-06-09 04:20:00	23.88064	23.92864	23.78803	2021-06-09 12:20:00	27.44708	27.72881	27.2161	2021-06-09 20:20:00	25.74848	25.80992	25.69628
2021-06-09 04:30:00	23.86599	23.89874	23.80108	2021-06-09 12:30:00	27.74882	28.12555	27.31376	2021-06-09 20:30:00	25.66487	25.71154	25.61693
2021-06-09 04:40:00	23.86599	23.89874	23.80108	2021-06-09 12:40:00	27.88681	28.0442	27.69524	2021-06-09 20:40:00	25.64252	25.69628	25.59862
2021-06-09 04:50:00	23.87432	23.90796	23.77056	2021-06-09 12:50:00	27.96796	28.2049	27.67693	2021-06-09 20:50:00	25.62455	25.66881	25.58336
2021-06-09 05:00:00	23.87432	23.90796	23.77056	2021-06-09 13:00:00	27.96796	28.2049	27.67693	2021-06-09 21:00:00	25.62455	25.66881	25.58336
2021-06-09 05:10:00	23.87432	23.90796	23.77056	2021-06-09 13:10:00	28.82933	29.13806	28.65047	2021-06-09 21:10:00	25.62927	25.66881	25.58336
2021-06-09 05:20:00	23.84991	23.88974	23.79561	2021-06-09 13:20:00	28.82933	29.13806	28.65047	2021-06-09 21:20:00	25.62927	25.66881	25.58336
2021-06-09 05:30:00	23.84991	23.88974	23.79561	2021-06-09 13:30:00	29.11718	29.40657	28.83663	2021-06-09 21:30:00	25.70544	25.70544	25.60778
2021-06-09 05:40:00	23.84991	23.88974	23.79561	2021-06-09 13:40:00	29.11718	29.40657	28.83663	2021-06-09 21:40:00	25.70544	25.70544	25.60778
2021-06-09 05:50:00	23.84991	23.88974	23.79561	2021-06-09 13:50:00	29.34775	29.45006	29.23948	2021-06-09 21:50:00	25.55126	25.62304	25.47044
2021-06-09 06:00:00	23.96893	23.96893	23.85907	2021-06-09 14:00:00	29.52483	29.65148	29.38461	2021-06-09 22:00:00	25.45454	25.53463	25.37278
2021-06-09 06:10:00	23.94757	23.94757	23.84991	2021-06-09 14:10:00	29.52483	29.65148	29.38461	2021-06-09 22:10:00	25.45454	25.53463	25.37278
2021-06-09 06:20:00	24.09711	24.09711	23.85907	2021-06-09 14:20:00	29.52483	29.65148	29.38461	2021-06-09 22:20:00	25.45454	25.53463	25.37278
2021-06-09 06:30:00	24.43008	24.43008	24.35652	2021-06-09 14:30:00	29.52483	29.65148	29.38461	2021-06-09 22:30:00	25.45454	25.53463	25.37278
2021-06-09 06:40:00	24.43008	24.43008	24.35652	2021-06-09 14:40:00	29.94356	30.04517	29.81628	2021-06-09 22:40:00	25.24225	25.29344	25.18867
2021-06-09 06:50:00	24.87338	24.87338	24.55794	2021-06-09 14:50:00	29.5542	29.859	29.48363	2021-06-09 22:50:00	25.18713	25.26292	25.13699
2021-06-09 07:00:00	25.0089	25.0089	24.83261	2021-06-09 15:00:00	29.81675	30.14665	29.61465	2021-06-09 23:00:00	25.16348	25.21409	25.12864
2021-06-09 07:10:00	25.0089	25.0089	24.83261	2021-06-09 15:10:00	29.81675	30.14665	29.61465	2021-06-09 23:10:00	25.16348	25.21409	25.12864
2021-06-09 07:20:00	25.21714	25.21714	24.99741	2021-06-09 15:20:00	28.83151	28.89007	28.63216	2021-06-09 23:20:00	25.14201	25.18862	25.09812
2021-06-09 07:30:00	25.00351	25.00351	25.00351	2021-06-09 15:30:00	28.83151	28.89007	28.63216	2021-06-09 23:30:00	25.14201	25.18862	25.09812
2021-06-09 07:40:00	25.1346	25.26292	25.00351	2021-06-09 15:40:00	28.67489	28.74899	28.40661	2021-06-09 23:40:00	25.10068	25.16224	25.06234
2021-06-09 07:50:00	25.16187	25.24555	25.03984	2021-06-09 15:50:00	28.28664	28.38191	27.9577	2021-06-09 23:50:00	25.09374	25.16526	25.03998
2021-06-09 08:00:00	25.24113	25.31115	25.11943	2021-06-09 16:00:00	28.09917	28.25088	27.93634	2021-06-09 24:00:00	25.06362	25.13779	24.97299

ANEXO G – DADOS DO BARÔMETRO

Data/hora	Pressão (mbar)	Pressão (mbar)	Data/hora	Pressão (mbar)	Pressão (mbar)	Data/hora	Pressão (mbar)	Pressão (mbar)
2021-06-09 08:00:00	991.5085	991.1679	2021-06-09 08:00:00	992.1609	991.8638	2021-06-09 16:00:00	989.5712	989.3185
2021-06-09 08:10:00	991.4662	991.1679	2021-06-09 08:10:00	992.1609	991.8638	2021-06-09 16:10:00	989.5712	989.3185
2021-06-09 08:20:00	991.4566	991.0215	2021-06-09 08:20:00	992.1763	991.5159	2021-06-09 16:20:00	989.6319	989.3185
2021-06-09 08:30:00	991.4719	991.0215	2021-06-09 08:30:00	992.1444	991.5159	2021-06-09 16:30:00	989.6319	989.3185
2021-06-09 08:40:00	991.4719	991.0215	2021-06-09 08:40:00	992.1444	991.5159	2021-06-09 16:40:00	989.6319	989.3185
2021-06-09 08:50:00	991.5342	990.9848	2021-06-09 08:50:00	992.4729	991.7772	2021-06-09 16:50:00	989.6319	989.3185
2021-06-09 09:00:00	991.3877	990.8017	2021-06-09 09:00:00	992.4521	992.1018	2021-06-09 17:00:00	989.6045	989.3185
2021-06-09 09:10:00	990.7834	992.7834	2021-06-09 09:10:00	992.5636	992.1384	2021-06-09 17:10:00	989.7582	989.3551
2021-06-09 09:20:00	991.0471	992.7834	2021-06-09 09:20:00	992.5636	992.1384	2021-06-09 17:20:00	989.7582	989.3551
2021-06-09 09:30:00	990.7026	992.7834	2021-06-09 09:30:00	992.5636	992.1384	2021-06-09 17:30:00	989.9844	989.6047
2021-06-09 09:40:00	990.82	990.3989	2021-06-09 09:40:00	992.613	992.2849	2021-06-09 17:40:00	990.3073	989.5016
2021-06-09 09:50:00	990.5471	990.2168	2021-06-09 09:50:00	992.4982	991.9187	2021-06-09 17:50:00	989.9884	989.5016
2021-06-09 10:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 10:00:00	992.4982	991.9187	2021-06-09 18:00:00	989.4721	989.7031
2021-06-09 10:10:00	990.4538	989.8679	2021-06-09 10:10:00	992.4584	991.9187	2021-06-09 18:10:00	989.4721	989.7031
2021-06-09 10:20:00	990.2718	989.8679	2021-06-09 10:20:00	992.4584	991.9187	2021-06-09 18:20:00	989.4721	989.7031
2021-06-09 10:30:00	990.0327	990.0327	2021-06-09 10:30:00	992.2419	991.5708	2021-06-09 18:30:00	990.6735	990.2341
2021-06-09 10:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 10:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 18:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 10:50:00	990.4538	990.4538	2021-06-09 10:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 18:50:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:00:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:00:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:10:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:10:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:10:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:20:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:20:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:20:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:30:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:30:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:30:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 11:50:00	990.051	990.051	2021-06-09 11:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 19:50:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:00:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:00:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:10:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:10:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:10:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:20:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:20:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:20:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:30:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:30:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:30:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 12:50:00	990.051	990.051	2021-06-09 12:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 20:50:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:00:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:00:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:10:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:10:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:10:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:20:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:20:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:20:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:30:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:30:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:30:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 13:50:00	990.051	990.051	2021-06-09 13:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 21:50:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:00:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:00:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:10:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:10:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:10:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:20:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:20:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:20:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:30:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:30:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:30:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 14:50:00	990.051	990.051	2021-06-09 14:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 22:50:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:00:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:00:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:00:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:10:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:10:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:10:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:20:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:20:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:20:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:30:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:30:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:30:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:40:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:40:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:40:00	990.5331	990.8667
2021-06-09 15:50:00	990.051	990.051	2021-06-09 15:50:00	992.1277	991.7173	2021-06-09 23:50:00	990.5331	990.8667

ANEXO H – DADOS DE POTÊNCIA EOLIOELÉTRICA VERIFICADA

Date/time	Potência Ativa - MW	Date/time	Potência Ativa - MW	Date/time	Potência Ativa - MW
2021-06-09 00:00:00	10.45723008	2021-06-09 08:00:00	19.27960371	2021-06-09 16:00:00	7.121862891
2021-06-09 00:10:00	9.832226074	2021-06-09 08:10:00	19.09865039	2021-06-09 16:10:00	6.925618066
2021-06-09 00:20:00	8.247987012	2021-06-09 08:20:00	20.08310859	2021-06-09 16:20:00	10.68839209
2021-06-09 00:30:00	7.636362598	2021-06-09 08:30:00	19.74155508	2021-06-09 16:30:00	12.74737734
2021-06-09 00:40:00	5.99372373	2021-06-09 08:40:00	19.91223633	2021-06-09 16:40:00	11.08645078
2021-06-09 00:50:00	5.021724023	2021-06-09 08:50:00	18.78002695	2021-06-09 16:50:00	9.484579102
2021-06-09 01:00:00	6.394640332	2021-06-09 09:00:00	18.53282637	2021-06-09 17:00:00	10.05563027
2021-06-09 01:10:00	9.398756543	2021-06-09 09:10:00	18.35051133	2021-06-09 17:10:00	12.52180664
2021-06-09 01:20:00	8.845578516	2021-06-09 09:20:00	19.63851445	2021-06-09 17:20:00	15.07848223
2021-06-09 01:30:00	6.526337988	2021-06-09 09:30:00	19.42547754	2021-06-09 17:30:00	14.26745742
2021-06-09 01:40:00	6.536018262	2021-06-09 09:40:00	20.27501016	2021-06-09 17:40:00	15.61099277
2021-06-09 01:50:00	7.05997793	2021-06-09 09:50:00	19.33049355	2021-06-09 17:50:00	18.05642168
2021-06-09 02:00:00	7.019709961	2021-06-09 10:00:00	16.47919219	2021-06-09 18:00:00	17.81093789
2021-06-09 02:10:00	7.94012666	2021-06-09 10:10:00	18.18225469	2021-06-09 18:10:00	15.94120078
2021-06-09 02:20:00	8.002014844	2021-06-09 10:20:00	18.41709082	2021-06-09 18:20:00	15.12760723
2021-06-09 02:30:00	7.453958789	2021-06-09 10:30:00	17.01499922	2021-06-09 18:30:00	14.68775625
2021-06-09 02:40:00	7.054076074	2021-06-09 10:40:00	16.2442084	2021-06-09 18:40:00	13.0102875
2021-06-09 02:50:00	7.204285254	2021-06-09 10:50:00	16.4252666	2021-06-09 18:50:00	11.9975584
2021-06-09 03:00:00	7.263863672	2021-06-09 11:00:00	15.49716152	2021-06-09 19:00:00	12.13141699
2021-06-09 03:10:00	6.384900879	2021-06-09 11:10:00	15.34264277	2021-06-09 19:10:00	12.95808984
2021-06-09 03:20:00	6.461232422	2021-06-09 11:20:00	14.96535176	2021-06-09 19:20:00	13.46872969
2021-06-09 03:30:00	6.67787959	2021-06-09 11:30:00	14.8924002	2021-06-09 19:30:00	13.92288633
2021-06-09 03:40:00	6.110222461	2021-06-09 11:40:00	13.84116035	2021-06-09 19:40:00	12.91682461
2021-06-09 03:50:00	7.01128916	2021-06-09 11:50:00	16.70168613	2021-06-09 19:50:00	12.81119004
2021-06-09 04:00:00	7.084717383	2021-06-09 12:00:00	16.54326855	2021-06-09 20:00:00	12.17210391
2021-06-09 04:10:00	6.422931445	2021-06-09 12:10:00	18.95469434	2021-06-09 20:10:00	11.01929238
2021-06-09 04:20:00	8.009340527	2021-06-09 12:20:00	13.99367168	2021-06-09 20:20:00	10.20980508
2021-06-09 04:30:00	8.250430371	2021-06-09 12:30:00	11.96772949	2021-06-09 20:30:00	10.00578223
2021-06-09 04:40:00	8.521948242	2021-06-09 12:40:00	14.16433652	2021-06-09 20:40:00	10.52222813
2021-06-09 04:50:00	7.194863379	2021-06-09 12:50:00	12.47361035	2021-06-09 20:50:00	9.61519834
2021-06-09 05:00:00	6.86242002	2021-06-09 13:00:00	13.9763625	2021-06-09 21:00:00	9.352518457
2021-06-09 05:10:00	6.767578125	2021-06-09 13:10:00	15.5392418	2021-06-09 21:10:00	8.097283301
2021-06-09 05:20:00	6.689142188	2021-06-09 13:20:00	14.8096623	2021-06-09 21:20:00	7.50703916
2021-06-09 05:30:00	6.638853223	2021-06-09 13:30:00	13.31531836	2021-06-09 21:30:00	7.667443066
2021-06-09 05:40:00	6.31585166	2021-06-09 13:40:00	12.19193906	2021-06-09 21:40:00	7.767325195
2021-06-09 05:50:00	5.57330332	2021-06-09 13:50:00	14.31573633	2021-06-09 21:50:00	7.854681738
2021-06-09 06:00:00	5.724112793	2021-06-09 14:00:00	11.47306055	2021-06-09 22:00:00	7.495159863
2021-06-09 06:10:00	6.17349375	2021-06-09 14:10:00	10.27154414	2021-06-09 22:10:00	7.630974902
2021-06-09 06:20:00	7.731044238	2021-06-09 14:20:00	9.537854297	2021-06-09 22:20:00	7.769558496
2021-06-09 06:30:00	9.649442578	2021-06-09 14:30:00	11.29612031	2021-06-09 22:30:00	7.943371289
2021-06-09 06:40:00	10.86433008	2021-06-09 14:40:00	13.57869199	2021-06-09 22:40:00	8.417052539
2021-06-09 06:50:00	12.72258105	2021-06-09 14:50:00	13.55897578	2021-06-09 22:50:00	8.169153223
2021-06-09 07:00:00	14.544	2021-06-09 15:00:00	12.14848828	2021-06-09 23:00:00	7.448658691
2021-06-09 07:10:00	17.00796973	2021-06-09 15:10:00	12.27272813	2021-06-09 23:10:00	8.232471094
2021-06-09 07:20:00	17.69685938	2021-06-09 15:20:00	12.94825723	2021-06-09 23:20:00	9.695167969
2021-06-09 07:30:00	17.71673262	2021-06-09 15:30:00	13.41151934	2021-06-09 23:30:00	11.24784844
2021-06-09 07:40:00	18.39223008	2021-06-09 15:40:00	12.88916543	2021-06-09 23:40:00	10.72631074
2021-06-09 07:50:00	19.10831191	2021-06-09 15:50:00	11.30267109	2021-06-09 23:50:00	9.718623926

ANEXO I – DADOS DOS CÁLCULOS REALIZADO

Date/time	Velocidade do vento - m/s	Potência eólica calculada - MW	Potência esperada (densidade probabilística) - MW	Potência esperada (cumulativa) - MW	Date/time	Velocidade do vento - m/s	Potência eólica calculada - MW	Potência esperada (densidade probabilística) - MW	Potência esperada (cumulativa) - MW
2021-06-09 00:00:00	8.2377	12.33032373	6.386598373	21.21217772	2021-06-09 16:00:00	10.9868	29.18350427	1.893144868	9.930595551
2021-06-09 01:00:00	7.2385	9.364391263	3.602338616	2.09887072	2021-06-09 17:00:00	11.5778	34.10927419	2.09887072	10.98683551
2021-06-09 02:00:00	7.2385	9.364391263	3.602338616	2.09887072	2021-06-09 18:00:00	11.5778	34.10927419	2.09887072	11.98683551
2021-06-09 03:00:00	6.3656	5.688952657	0.53081814	1.707236289	2021-06-09 19:00:00	9.4524	18.3933369	1.42978614	12.41258672
2021-06-09 04:00:00	6.1709	5.182954517	0.456636333	1.707236289	2021-06-09 20:00:00	8.374	12.78638536	1.08328728	13.4852415
2021-06-09 05:00:00	7.0242	7.64407492	3.146735266	1.62112278	2021-06-09 21:00:00	8.2731	12.33254247	1.05157266	14.53681415
2021-06-09 06:00:00	6.6894	6.95259573	4.68430636	1.58074459	2021-06-09 22:00:00	8.5191	13.4714871	1.13080804	15.66762239
2021-06-09 07:00:00	7.1799	8.78243051	5.710135001	1.47616871	2021-06-09 23:00:00	9.1204	20.37342946	1.53322722	16.80083063
2021-06-09 08:00:00	7.0712	7.802546663	6.93016511	1.41063895	2021-06-09 24:00:00	9.7074	19.98987548	1.54375537	18.34409225
2021-06-09 09:00:00	6.4568	5.540298852	2.14509374	1.67100835	2021-06-09 25:00:00	10.1988	23.17039757	1.611348482	19.95544873
2021-06-09 10:00:00	6.9387	7.372251972	0.655480166	1.958334059	2021-06-09 26:00:00	11.2667	31.27401507	1.935430869	21.8908898
2021-06-09 11:00:00	7.2294	8.388419113	3.564906438	1.76573107	2021-06-09 27:00:00	9.619	19.48919268	1.489180898	23.3800792
2021-06-09 12:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 28:00:00	10.985	16.42632375	1.32192361	24.86927874
2021-06-09 13:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 29:00:00	8.7987	14.95254513	1.22842369	26.09878794
2021-06-09 14:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 30:00:00	9.27	17.48883175	1.38160007	27.48040812
2021-06-09 15:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 31:00:00	9.4611	18.5723203	1.43129465	28.91163138
2021-06-09 16:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 32:00:00	9.112	16.5963196	1.31198317	30.22355105
2021-06-09 17:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 33:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	31.42090022
2021-06-09 18:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 34:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	32.61854314
2021-06-09 19:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 35:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	33.81718428
2021-06-09 20:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 36:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	35.01582542
2021-06-09 21:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 37:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	36.21446656
2021-06-09 22:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 38:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	37.41310770
2021-06-09 23:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 39:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	38.61174884
2021-06-09 24:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 40:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	39.81039000
2021-06-09 25:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 41:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	41.00903116
2021-06-09 26:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 42:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	42.20767232
2021-06-09 27:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 43:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	43.40631348
2021-06-09 28:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 44:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	44.60495464
2021-06-09 29:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 45:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	45.80359580
2021-06-09 30:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 46:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	47.00223696
2021-06-09 31:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 47:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	48.20087812
2021-06-09 32:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 48:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	49.39951928
2021-06-09 33:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 49:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	50.59816044
2021-06-09 34:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 50:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	51.79680160
2021-06-09 35:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 51:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	52.99544276
2021-06-09 36:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 52:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	54.19408392
2021-06-09 37:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 53:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	55.39272508
2021-06-09 38:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 54:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	56.59136624
2021-06-09 39:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 55:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	57.79000740
2021-06-09 40:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 56:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	58.98864856
2021-06-09 41:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 57:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	60.18728972
2021-06-09 42:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 58:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	61.38593088
2021-06-09 43:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 59:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	62.58457204
2021-06-09 44:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 60:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	63.78321320
2021-06-09 45:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 61:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	64.98185436
2021-06-09 46:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 62:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	66.18049552
2021-06-09 47:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 63:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	67.37913668
2021-06-09 48:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 64:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	68.57777784
2021-06-09 49:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 65:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	69.77641896
2021-06-09 50:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 66:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	70.97506008
2021-06-09 51:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 67:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	72.17370120
2021-06-09 52:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 68:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	73.37234232
2021-06-09 53:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 69:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	74.57098344
2021-06-09 54:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 70:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	75.76962456
2021-06-09 55:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 71:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	76.96826568
2021-06-09 56:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 72:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	78.16690680
2021-06-09 57:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 73:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	79.36554792
2021-06-09 58:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 74:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	80.56418904
2021-06-09 59:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 75:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	81.76283016
2021-06-09 60:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 76:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	82.96147128
2021-06-09 61:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 77:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	84.16011240
2021-06-09 62:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 78:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	85.35875352
2021-06-09 63:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 79:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	86.55739464
2021-06-09 64:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 80:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	87.75603576
2021-06-09 65:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 81:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	88.95467688
2021-06-09 66:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 82:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	90.15331800
2021-06-09 67:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 83:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	91.35195912
2021-06-09 68:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 84:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	92.55060024
2021-06-09 69:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 85:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	93.74924136
2021-06-09 70:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 86:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	94.94788248
2021-06-09 71:00:00	7.1986	8.23443051	3.516823957	1.937673488	2021-06-09 87:00:00	8.8989	14.44438722	1.197642097	96.146523