

UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA DE
ENERGIA NA
AGRICULTURA – PPGEEA

MIREILLE SATO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO EM MICROESCALA DE CASCAVEL
E REGIÃO**

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO-2015

MIREILLE SATO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO EM MICROESCALA DE CASCAVEL E
REGIÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como partes das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO– 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S266a

Sato, Mireille

Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região. Mireille Sato. Cascavel, 2015.

90 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. Vento. 2. Velocidade de média. 3. Weibull. I. Siqueira, Jair Antonio Cruz.
II. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo. III. Universidade Estadual do Oeste do
Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 621.45

MIREILLE SATO

“Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo

Universidade Federal do Paraná – UFPR/Palotina

Cascavel, 09 de março de 2015.

*Dedico à Maurício Guy de Andrade meu eterno amor e
exemplo de respeito ao próximo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pela vida e oportunidade de crescimento pessoal.

Agradeço a minha mãe Ana, meu pai Luiz, minha irmã Milene e meu sobrinho Davi por toda ajuda para que eu pudesse concluir minha graduação em geografia.

À minha irmã Michelle que me deu a oportunidade conviver com o amor sincero de uma criança, o meu eterno bebê João Pedro.

Ao meu futuro marido Maurício pelo apoio e amor incondicional, meu exemplo de dedicação, determinação e profissionalismo docente. À família Andrade por me receberem tão sinceramente.

Aos meus amados amigos Fernando, Gabriel, Matheus, Gustavo, Karen, Paola, Alessandra, Mayra, Emanuelle, Maíra e Juliana por me ajudarem em dado momento da minha vida, por compartilharem os bons momentos e aconselharem nos ruins. E principalmente por tornar a vida mais colorida.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Jair Antonio da Cruz Siqueira e meu co-orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira pela contribuição em todos os momentos.

Aos demais professores do programa de pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico, assim como a Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt por me ajudar com os prazos e datas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio à pesquisa.

Enfim agradeço a todos que foram presentes durante este processo de aperfeiçoamento acadêmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Circulação geral da atmosfera	4
Figura 2. Distribuição da velocidade do vento a 10 metros de altura	6
Figura 3. Exemplo de distribuição de Weibull e as frequências de velocidade do vento	8
Figura 4. Potencial eólico brasileiro	10
Figura 5. Evolução da capacidade eólica instalada no Brasil.....	12
Figura 6. Velocidade do vento do Paraná a 50 metros	15
Figura 7. Velocidade do vento do Paraná a 75 metros	16
Figura 8. Velocidade do vento do Paraná a 100 metros	16
Figura 9. Localização da mesorregião Oeste do Paraná.....	19
Figura 10. Estação meteorológica do SIMEPAR-Cascavel	21
Figura 11. Software com simulação de energia anual consumida.....	26
Figura 12. Software com simulação de energia gerada pelo sistema eólico	26
Figura 13. Histograma Frequência de Assis Chateaubriand a 10 metros.....	29
Figura 14. Histograma de Frequência de Assis Chateaubriand a 25 metros.....	29
Figura 15: Histograma de Frequência de Assis Chateaubriand a 40 metros.....	30
Figura 16. Distribuição de Weibull a 10 metros de Assis Chateaubriand.....	31
Figura 17. Distribuição de Weibull a 25 metros de Assis Chateaubriand.....	31
Figura 18. Distribuição de Weibull a 40 metros de Assis Chateaubriand.....	32
Figura 19. Histograma de Frequência de Cascavel a 10 metros.....	34
Figura 20. Histograma de Frequência de Cascavel a 25 metros.....	34
Figura 21. Histograma de Frequência de Cascavel a 40 metros.....	34
Figura 22. Distribuição de Weibull a 10 metros de Cascavel	36
Figura 23. Distribuição de Weibull a 25 metros de Cascavel	36
Figura 24. Distribuição de Weibull a 40 metros de Cascavel	37
Figura 25. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 10 metros	38
Figura 26. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 25 metros	39
Figura 27. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 40 metros	39
Figura 28. Distribuição de Weibull a 10 metros de Foz do Iguaçu	40
Figura 29. Distribuição de Weibull a 25 metros de Foz do Iguaçu	40
Figura 30. Distribuição de Weibull a 40 metros de Foz do Iguaçu	41
Figura 31. Histograma de Frequência de Guaíra a 10 metros	42

Figura 32. Histograma de Frequência de Guaíra a 25 metros	43
Figura 33. Histograma de Frequência de Guaíra a 40 metros	43
Figura 34. Distribuição de Weibull de Guaíra a 10 metros	44
Figura 35. Distribuição de Weibull de Guaíra a 25 metros	45
Figura 36. Distribuição de Weibull de Guaíra a 40 metros	45
Figura 37. Histograma de Frequência de Palotina a 10 metros	47
Figura 38. Histograma de Frequência de Palotina a 25 metros	47
Figura 39. Histograma de Frequência de Palotina a 40 metros	47
Figura 40. Distribuição de Weibull de Palotina a 10 metros	48
Figura 41. Distribuição de Weibull de Palotina a 25 metros	49
Figura 42. Distribuição de Weibull de Palotina a 40 metros	49
Figura 43. Histograma de Frequência de Santa Helena a 10 metros	51
Figura 44. Histograma de Frequência de Santa Helena a 25 metros	51
Figura 45. Histograma de Frequência de Santa Helena a 40 metros	51
Figura 46. Distribuição de Weibull a 10 metros para Santa Helena.....	52
Figura 47. Distribuição de Weibull a 25 metros para Santa Helena.....	53
Figura 48. Distribuição de Weibull a 40 metros para Santa Helena.....	53
Figura 49. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguaçu a 10 metros.....	55
Figura 50. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguaçu a 25 metros.....	55
Figura 51. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguaçu a 40 metros.....	55
Figura 52. Distribuição de Weibull a 10 metros para São Miguel do Iguaçu	56
Figura 53. Distribuição de Weibull a 25 metros para São Miguel do Iguaçu	57
Figura 54. Distribuição de Weibull a 40 metros para São Miguel do Iguaçu	57
Figura 55. Histograma de Frequência de Toledo a 10 metros.....	59
Figura 56. Histograma de Frequência de Toledo a 25 metros.....	59
Figura 57. Histograma de Frequência de Toledo a 40 metros.....	59
Figura 58. Distribuição de Weibull a 10 metros para Toledo	60
Figura 59. Distribuição de Weibull a 25 metros para Toledo	61
Figura 60. Distribuição de Weibull a 40 metros para Toledo	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Expoente de Hellmann em função da rugosidade.....	5
Tabela 2. Classificação dos tipos de ventos e seus respectivos efeitos	5
Tabela 3. Os 10 países com maior capacidade instalada em energia eólica em 2010 e suas respectivas participações no total gerado	9
Tabela 4. Potencial eólico estadual de acordo com os respectivos atlas	11
Tabela 5. Variação da velocidade do vento em função da altitude	14
Tabela 6. Localização das estações meteorológicas do SIMEPAR.....	20
Tabela 7. Especificação técnica dos aerogeradores	27
Tabela 8. Estatística descritiva da velocidade do vento de Assis Chateaubriand	28
Tabela 9. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Assis Chateaubriand.	30
Tabela 10. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Cascavel	33
Tabela 11. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Cascavel	35
Tabela 12. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Foz do Iguaçu	38
Tabela 13. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Foz do Iguaçu.....	39
Tabela 14. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Guaíra.....	42
Tabela 15. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Guaíra.....	43
Tabela 16. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Palotina.....	46
Tabela 17. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Palotina.....	48
Tabela 18. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Santa Helena.....	50
Tabela 19. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Santa Helena	52
Tabela 20. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de São Miguel do Iguaçu	54
Tabela 21. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de São Miguel do Iguaçu.	56
Tabela 22. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Toledo.....	58
Tabela 23. Histograma de Frequência de Toledo a 40 metros	60
Tabela 24. Itens elétricos e energia anual requerida.....	62
Tabela 25. Energia Anual Gerada em kWh.....	63

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Velocidade média por estação do ano	73
Apêndice 2. Porcentagem suprida da demanda residencial por turbinas	74

RESUMO

SATO, Mireille. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2015. Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região. Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio da Cruz Siqueira. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

O cenário energético mundial aponta para a necessidade de fontes alternativas de energia, haja vista a dependência de combustíveis fósseis finitos e altamente poluentes. Dentre os recursos energéticos limpos, tem-se a energia eólica, recurso inesgotável que se dá pela transformação da energia cinética contida nos ventos em energia mecânica por meio de um aerogerador. A energia eólica mundial disponível é da ordem de 53.000 TWh/ano, já em termos de potencial eólico 143.000 MW cabem ao potencial eólico brasileiro e deste total 1.360 MW conferem ao estado do Paraná, lócus deste estudo. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal determinar o potencial eólico para microgeração e minigeração de Cascavel e região, bem como tem por objetivos específicos determinar a velocidade média dos ventos anual e sazonalmente de cada município alvo desta investigação, determinar o potencial eólico anual de cada município alvo desta investigação em função das alturas da torre de 10, 25 e 40 metros, analisar a energia anual requerida por uma residência e de uma bomba de água comparando-a com a energia anual gerada pelo sistema eólico para todos os municípios em questão e indicar o tipo de empreendimento eólico mais adequado para o aproveitamento do potencial eólico disponível para cada município alvo da desta investigação. A metodologia consiste em elaborar histogramas de velocidade do vento dos municípios de Assis Chateaubriand, Cascavel, Foz do Iguaçu, Guaíra, Palotina, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo, assim como descrever o fluxo variável de velocidade do vento por meio da Função Densidade de Probabilidade Weibull, determinar o potencial eólico e por fim realizar a simulação de energia requerida e gerada. Ao final do trabalho pode-se concluir que apenas o município de Cascavel tem um potencial eólico satisfatório.

Palavras-chave: vento, velocidade média e Weibull.

ABSTRACT

SATO, Mireille. Western Paraná State University, march 2015. Wind potential evaluation in microscale Cascavel and region. Adviser: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Co-adviser: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

The global energy scenario points to the need for alternative energy sources, given the dependence on finite fossil fuels and highly polluting. Among the clean energy resources, there is the wind, inexhaustible resource that gives the transformation of the kinetic energy contained in wind into mechanical energy through a turbine. The global wind power available is around 53.000 TWh /year, since in terms of wind potential 143.000 MW fit the Brazilian wind potential and of this total 1.360 MW give the state of Paraná, locus of this study. Within this context, this study aims to determine the wind potential for microgeneration and minigeneration Cascavel and region, and has the following specific objectives: determine the average speed of winds and annual seasonally each municipality target of this investigation, determining the annual wind potential of each target district this investigation depending on the heights of the tower 10, 25 and 40 meters, analyzing the annual energy required by a residence and a water pump comparing it with the annual energy generated by the wind power system for all municipalities in question and the type of wind development more suitable for the use of wind power available for each target municipality of this investigation. The methodology is to develop histograms of wind speed in the municipalities of Assis Chateaubriand, Cascavel, Foz do Iguaçu, Guaíra, Palotina, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu and Toledo, as well as describe the wind speed variable flow by Function Weibull probability density, determine the wind potential and finally achieve the required and generated energy simulation. At the end of the work can be concluded that only the city of Cascavel has a good wind potential.

Keywords: wind, average speed and Weibull.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE APÊNDICES	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Formação dos Ventos	3
2.2. Estudos Estatísticos da Velocidade do Vento.....	4
2.3. Cenário Mundial de Energia Eólica.....	8
2.5. Potencial Eólico Do Paraná	13
2.6. Empreendimentos Eólicos	17
2.6.1. Micro e Minigeração Elétrica	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Materiais	19
3.1.1. Localização do experimento	19
3.1.2. Características Técnicas da Estação Meteorológica	20
3.1.3. Séries temporais.....	21
3.2. Metodologia.....	21
3.2.1. Método estatístico de tratamento da velocidade do vento	22
3.2.2. Método de determinação da potência eólica.....	24
3.2.3. Método de Simulação de Energia Anual Gerada.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1. Resultados da Velocidade do Vento e Potencial Eólico.....	28
4.1.1. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Assis Chateaubriand	28
4.1.2. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Cascavel	32
4.1.3. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Foz do Iguaçu	37
4.1.4. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Guaíra	41
4.1.5. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Palotina	46
4.1.6. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Santa Helena	50
4.1.7. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de São Miguel do Iguaçu	54
4.1.8. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Toledo	58
4.2. Resultado da Simulação de Energia Anual Gerada e Requerida.....	62
4.2.1 Resultado energia anual gerada e consumida pela residência	63
4.2.2. Resultado da energia anual gerada e consumida pela bomba de água	64
5. CONCLUSÕES.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICES	73

1. INTRODUÇÃO

No decorrer de sua história, o homem vem descobrindo e dominando fontes de energia indispensáveis ao seu desenvolvimento. Inicialmente com o uso primitivo da energia muscular, acompanhada àquela advinda do fogo, dentre outras concebidas até o marco da sociedade moderna, a Revolução Industrial no século XVIII, quando vinculamos o progresso à utilização das fontes de energia fóssil, com o aproveitamento energético do carvão mineral e mais a diante com a proeminência do petróleo.

No tocante às aspirações fundamentais a qualquer nação do globo, a exemplo da qualidade de vida, bem como avanços industriais e consequentemente econômicos, a questão energética é um dos objetos de maior importância da atualidade. De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2007), o consumo mundial de energia encontra-se dependente dos combustíveis fósseis, perfazendo 66,7% da matriz energética mundial, dos quais 42,3% correspondem ao consumo de petróleo.

Tal cenário energético é alarmante visto as reservas finitas de petróleo e ainda em face da crescente preocupação ambiental, que fomenta o incremento de fontes de energia inesgotáveis e menos poluentes capazes de gerar segurança no suprimento de energia. Assim, a necessidade de provisão energética lança a energia eólica como uma alternativa limpa de geração de eletricidade por não ocasionar emissões de gases do efeito estufa (GEE).

A energia eólica é proveniente da ação dos ventos, que por sua vez dá-se pelo balanço de radiação diferencial em torno da superfície terrestre, conduzindo diferenças de pressão atmosférica que a mantem em constante movimento. A energia cinética contida nos ventos é transformada em energia mecânica através de aerogeradores, tornando possível a geração de eletricidade coerente ao viés de sustentabilidade ambiental ou ainda possibilita o bombeamento de água e moagem de grãos.

O recurso eólico mundial está estimado em 53.000 TWh/ano (GRUBB,1994 *apud* GREENPEACE, 1999), quando comparado ao consumo mundial de energia elétrica de 2010 cujo valor foi da ordem de 18.466 TWh/ano de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013), nota-se que o recurso eólico mundial com possibilidade de transformação em energia elétrica é aproximadamente três vezes maior que a energia consumida em todo mundo no ano de 2010.

No que tange ao potencial eólico do país “O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro”, aponta valores em torno de 143.000 MW/ano (AMARANTE, *et.al*, 2001), dos quais 1.360

MW/ano conferem ao estado do Paraná (SCHULTZ, *et.al*, 2007), lócus de investigação deste estudo. Entretanto cabe ressaltar que o inventário brasileiro de velocidades do vento, em conformidade com outros levantamentos eólicos regionais, são consensuais com relação as várias áreas de potencial eólico inexplorados no Brasil (AMARANTE, *et.al*, 2001).

“O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro” fornece informações de velocidade do vento as alturas de 50, 75 e 100 metros que caracterizam grandes empreendimentos eólicos e chama a atenção para a necessidade de estudos sobre o recurso eólico em microescala, justificando o presente trabalho que visa analisar o potencial eólico para micro e minigeração de eletricidade do município de Cascavel, indicado pelo atlas com bom potencial eólico e de municípios adjacentes, cujo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) possui séries históricas de velocidade do vento.

Empreendimentos eólicos de micro e minigeração, além de serem uma opção para aliviar a demanda por energia elétrica são vantajosos do ponto de vista da acessibilidade a eletricidade em regiões remotas, fora do alcance da rede elétrica convencional, ou ainda quando interligada a rede são sinônimos de economia por proporcionar redução nas perdas de rede de distribuição.

Dentro deste contexto, este estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial eólico em regime de microgeração para áreas rurais dos municípios de Assis Chateaubriand, Cascavel, Foz do Iguaçu, Guaíra, Palotina, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo. A fim de atingir o objetivo geral foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a velocidade média dos ventos anual e sazonalmente determinado a estação do ano com maior velocidade do vento, de cada município alvo desta investigação;
- Determinar a potência eólica específica anual de cada município alvo desta investigação em função das alturas da torre de 10, 25 e 40 metros;
- Realizar uma simulação da energia anual gerada comparando-a com a demanda energética de uma propriedade rural de cada município alvo desta investigação;
- E por fim indicar o tipo de empreendimento eólico mais adequado, quanto a potência, de cada município alvo da desta investigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Formação dos Ventos

O movimento das parcelas de ar na atmosfera terrestre é denominado vento, todavia, cabe ressaltar que tal denominação aplica-se apenas as parcelas de ar paralelas a superfície do planeta, sendo descartados os movimentos do ar no sentido vertical (MARTINS *et.al*, 2008).

O vento é proveniente da energia solar, dada à incidência diferenciada dos raios solares na superfície terrestre (que variam em função das latitudes), associadas à heterogeneidade da superfície da Terra (formas de relevo, superfícies continentais e oceânicas e o calor específico da água e da terra) e por fim em ação conjunta com o movimento de rotação da terra, conduzem diferenças de pressão que mantem a atmosfera em constante movimento. Esse deslocamento do ar, entendido como vento, movimenta-se a fim de equilibrar as diferenças de pressão (TORRES & MACHADO, 2011).

Existem zonas de baixa pressão em torno do Equador, de origem essencialmente térmica (com balanço de radiação solar positivo), e em torno da latitude de 60° ao sul e ao norte do equador, que são atribuídas ao movimento de rotação da terra, que provoca um turbilhão polar. As zonas de alta pressão ocorrem nos polos, também de origem térmica (com balanço de radiação solar negativo), e nas latitudes de 30° em ambos os hemisférios devido ao acúmulo de ar das correntes dirigidas para os polos (AYOADE, 2003).

A Figura 1 abaixo exhibe os ventos chamados planetários ou constantes, aqueles que não cessam (AYOADE, 2003):

- Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.
- Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos.
- Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

Concomitantemente aos ventos constantes há também os de origem sazonal, a exemplo dos ventos de monções ou ventos continentais atrelados às estações do ano variando suas direções e intensidades. Existem ainda as brisas em função das diferentes capacidades de refletir, absorver e emitir o calor recebido do sol inerentes à cada tipo de superfície (tais como mares e continentes, estas caracterizam-se por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa. Por fim há ventos locais devido a mecanismos específicos de diferenciais de pressão, sendo o mais conhecido deles os ventos de altitude em montanhas e vales (DUTRA, 2008).

Pode-se observar na Figura 1 as zonas de baixa (BP) e alta (AP) pressões atmosféricas:

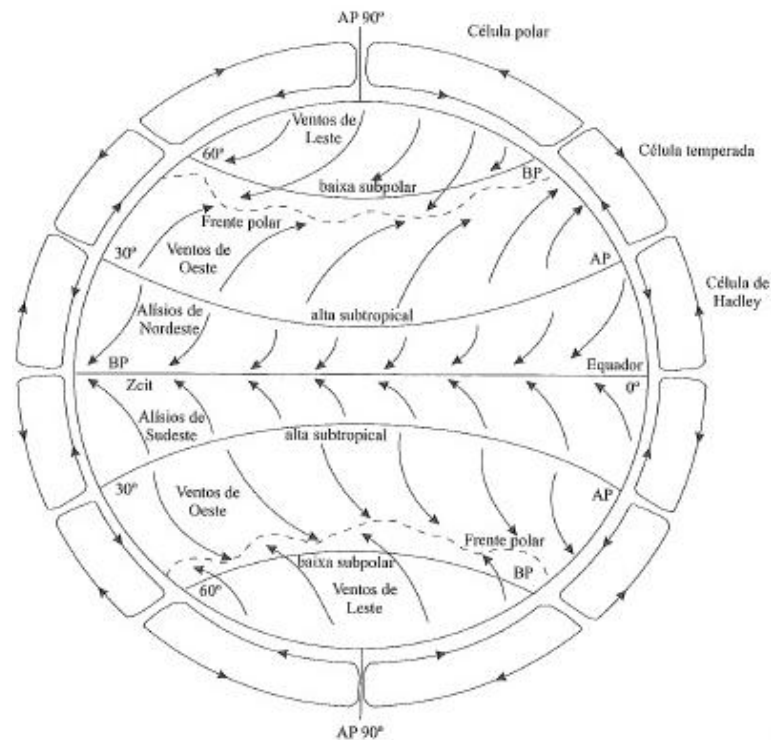


Figura 1. Circulação geral da atmosfera

Fonte: TORRES & MACHADO (2011)

2.2. Estudos Estatísticos da Velocidade do Vento

O estudo do potencial eólico dá-se inicialmente pela análise da velocidade dos ventos de superfície. Estes por sua vez são compreendidos como deslocamentos de massas de ar até 100m de altura que sofrem influencia do cisalhamento com o plano sob o qual percorre, sendo assim, o grau de rugosidade do terreno pode constituir barreiras naturais ou artificiais aos ventos, conforme suas respectivas distribuições e dimensões (MIGUEL, 2004).

Desta forma, os ventos de superfície em terrenos rugosos tem sua velocidade decrescida. Portanto, o diagnóstico da rugosidade do terreno é de suma importância para avaliar corretamente a velocidade do vento considerando a altura de instalação do aerogerador (AMÊNDOLA, 2007). Para extrapolar a velocidade do vento, captados geralmente por estações meteorológicas a uma altura de 10m, em função de um perfil vertical, dado pela altitude de instalação da torre de um aerogerador e a rugosidade do terreno, utiliza-se a Lei de Hellmann (FERNANDEZ DIEZ, 2003), expressa pela equação abaixo:

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \text{eq.01}$$

Onde:

V_h = velocidade do vento à altura “h”, em m/s.

V_{10} = velocidade do vento à altura de 10m, em m/s.

α = expoente de Hellmann em função da rugosidade do terreno.

Os valores do expoente de Hellmann variam com relação à rugosidade do terreno e assim possibilitam caracterizar o tipo de paisagem onde ocorrerá o empreendimento eólico, os valores do expoente são apontados na Tabela 1.

Tabela 1. Expoente de Hellmann em função da rugosidade

Descrição do Terreno	Expoente de Hellmann
Lugares planos com gelo ou mata	0,08 – 0,12
Lugares planos (mar, costa)	0,14
Terrenos pouco acidentados	0,13 – 0,16
Zonas rústicas	0,20
Terrenos acidentados ou bosques	0,20 – 0,26
Terrenos muito acidentados e cidade	0,25 – 0,40

Fonte: FERNANDEZ DIEZ (2003).

Ainda com vista à velocidade do vento Fernández Diez (2003), classifica os tipos de ventos em função de sua intensidade e seus efeitos, aqueles tidos como ventos moderados, fortes e ventania apresentam boas condições de aproveitamento eólico, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos tipos de ventos e seus respectivos efeitos

Velocidade (m/s)	Efeitos
0,0 – 0,4	Calmaria: Não se note nenhum movimento dos galhos.
0,4 – 1,8	
1,8 – 3,6	Brisa: As folhas das árvores são agitadas.
3,6 – 5,8	
5,8 – 8,5	Ventos moderado: Pequenas árvores começam a oscilar.
8,5 – 11	
11 – 14	Vento forte: Galhos maiores agitados.
14 – 17	
17 – 21	Ventania: Começa a arrancar telhas.
21 – 25	
25 – 29	Vendaval: Árvores são derrubadas.
29 – 34	
>34	Furacão: Produz efeitos devastadores.

Fonte: FERNANDEZ DIEZ (2003).

A velocidade média dos ventos é comumente representada de forma gráfica a partir de histogramas de frequências, também conhecido como “distribuição de frequências de velocidade” (SOBRAL, 2009). Na Figura 2, tem-se um exemplo de histograma de frequência do município de Nossa Senhora da Glória em Sergipe, no qual se verifica que a maior intensidade de velocidade dos ventos foi entre 12 – 12,9 m/s, sendo que a faixa de velocidade que ocorre com maior frequência foi a 5 – 5,9m/s correspondendo a 12,10% de ocorrências de vento.

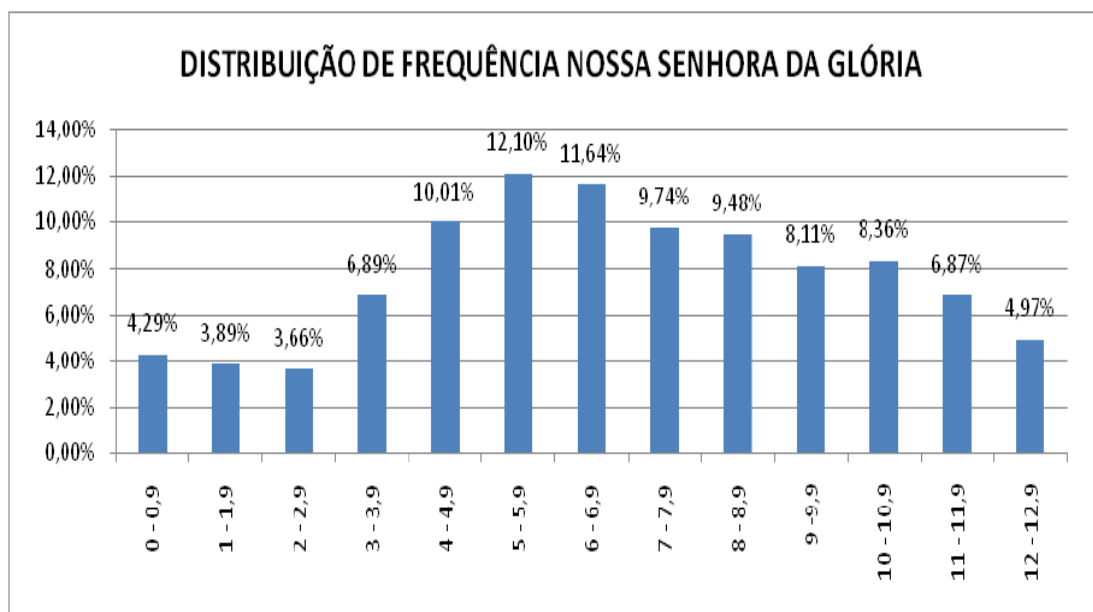


Figura 2. Distribuição da velocidade do vento a 10 metros de altura

Fonte: SOBRAL (2009).

Uma outra representação gráfica amplamente difundida em análises eólicas é a Função Densidade de Probabilidade Weibull, que descreve o fluxo variável de velocidade do vento em uma determinada área, a fim de traçar um prognóstico a longo prazo do potencial de produção de eletricidade durante a vida útil do aerogerador. Esta curva de distribuição dos ventos tem maior grau de confiabilidade a medida em que há maior quantidade de dados, ou seja, maior série histórica (PRADO, 2009). A seguir tem-se a equação da função densidade de probabilidade Weibull, calculada conforme os fatores de escala C e de forma k:

$$P(V) = \frac{K}{V} \cdot \frac{V^{K-1}}{c} \cdot \exp\left\{-\frac{V^K}{c}\right\} \quad \text{eq.02}$$

Onde:

$P(V)$ = frequência de ocorrência de velocidade do vento.

V = velocidade horizontal estável do vento livre em m/s.

C = fator de escala de Weibull empírico em m/s, com valores próximos da velocidade média.

k = fator de forma de Weibull empírico adimensional, se caracteriza pela assimetria da função da probabilidade.

Os parâmetros de escala (C) e forma (k) são dados a partir das seguintes equações:

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1.086} \quad \text{eq.03}$$

$$V_m = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \cong (0,90 \pm 0,01)c \quad \text{eq.04}$$

Onde:

k = fator forma adimensional.

σ = desvio padrão.

V_m = velocidade máxima em m/s.

c = fator de escala em m/s.

Γ = função gama.

A Figura 3 exemplifica a distribuição de Weibull para valores de $C=7,89$ e $k=2$, no qual o formato assimétrico à direita significa que são mais recorrentes as brisas e calmarias em detrimento aos vendavais e ventos fortes.

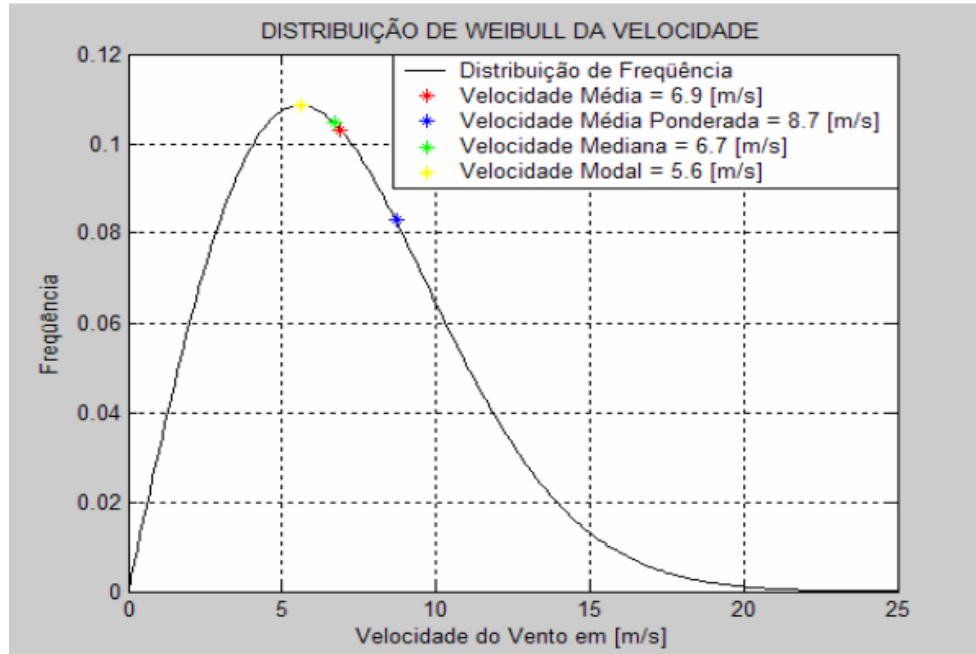


Figura 3. Exemplo de distribuição de Weibull e as frequências de velocidade do vento

Fonte: AMÊNDOLA(2007).

O valor médio da velocidade é da ordem de 6,9m/s. Já a mediana representa que metade do tempo o vento assume uma velocidade acima de 6,7m/s e na outra metade a velocidade é menor que este valor. Por fim o valor modal de 5,6m/s indica que o vento possui esta velocidade a maior parte do tempo.

2.3. Cenário Mundial de Energia Eólica

Apesar de imprecisos, os registros do emprego da energia eólica constam na história da humanidade desde a Idade Média, por meio de moinhos de vento restritos a moagem de grãos ou bombeamento de água em áreas agrícolas (GASH & TWELE, 2012). Já sua utilização para produção de eletricidade, ocorreu mais recentemente na década de 1930 nos Estados Unidos, com a finalidade de carregar baterias possibilitando o acesso à energia elétrica em áreas rurais (AMARANTE *et.al*, 2001).

A partir da década de 1940, os Estados Unidos e Dinamarca promovem a geração de eletricidade com o uso de turbinas eólicas de grande porte, a fim de suplementar o sistema elétrico já existente. Todavia, somente em 1955 na Alemanha, foi desenvolvido o modelo de aerogerador precursor dos atuais, responsáveis pela produção da ordem de alguns megawatts,

que viabilizaram a construção de usinas eólicas consideradas eficazes na complementariedade as matrizes energéticas em todo o mundo (MARTINS *et.al*, 2008).

Pós-crise do petróleo, em 1970, o setor de energia eólica recebe investimentos e ganha expressividade no cenário mundial na década de 1990, cuja capacidade mundial instalada era inferior a 2.000 MW. Em 1994, tal capacidade subiu para 3.734 MW e quatro anos mais tarde chegou a 10.000 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL, 2003).

Já em 2006, a capacidade mundial instalada de aerogeradores destinados à geração de energia elétrica perfaziam 74.223MW, três anos depois, o aproveitamento deste recurso totalizavam 157GW instalados (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC, 2011).

Atualmente, há cerca de 30 países com produção superior a 1.000MW de eletricidade via energia eólica. No ano de 2010, a capacidade instalada mundial perfaziam 197.039 MW, dos quais 43,8% pertenciam a Europa, seguido da Ásia com 30,0%, 22,4% na América do Norte, 1,2% na Austrália, 1,0% na América Latina e por fim a África com apenas 0,5% do total (RICOSTI, 2011).

No que diz respeito aos países que mais se destacaram na produção de energia eólica em 2010, tem-se a China como maior produtor mundial, acompanhada dos Estados Unidos e Alemanha, conforme a Tabela 3 (GWEC, 2011):

Tabela 3. Os 10 países com maior capacidade instalada em energia eólica em 2010 e suas respectivas participações no total gerado

Capacidade MW	2010	%
China	44.733	22,7%
Estados Unidos	40.180	20,4%
Alemanha	27.214	13,8%
Espanha	20.676	10,5%
Índia	13.,065	6,6%
Itália	5.797	2,9%
França	5.660	2,9%
Inglaterra	5.204	2,6%
Portugal	4.009	2,0%
Dinamarca	3.752	1,9%
Demais Países	26.749	13,6%

Fonte: GWEC (2011)

Assim, frente a evolução e a promissora produção energia eólica, a Associação Europeia de Energia Eólica prevê para 2020, o suprimento de 10% de toda energia requerida no mundo, representando um alívio à dependência fóssil (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION- EWEA, 200

2.4. Potencial Eólico Brasileiro

O cenário brasileiro de energia eólica apresenta uma tímida capacidade instalada quando comparado aos grandes produtores mundiais. Todavia, segundo Camargo (2005), há diversos trechos do território nacional com potencial eólico não explorado.

As primeiras iniciativas para determinação do potencial eólico brasileiro surgem do incentivo da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia - MTC em parceria com o Centro Brasileiro de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em 1998, que publicou o Atlas Eólico da Região Nordeste, destacando o elevado potencial nos estados de Pernambuco e Ceará. Tal mapeamento não ocorreu ao acaso, haja a vista a instalação do primeiro aerogerador de grande porte no país em Fernando de Noronha, 1992, com potência de 75 kW, marcando a supremacia eólica nordestina com relação às demais regiões brasileiras (FERREIRA, 2008).

Em 2001, o CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL, divulgou o Atlas Eólico Brasileiro apontando uma capacidade não instalada da ordem de 143.000MW, para velocidades iguais ou superiores a 7 m/s, distribuídos regionalmente conforme a Figura 4. O atlas aponta as regiões Nordeste e Sudeste, especificamente nas áreas litorâneas, com os melhores potenciais eólicos do país, seguidos do Vale do São Francisco e o Sudoeste do Paraná (AMARANTE, *et.al.*, 2001).

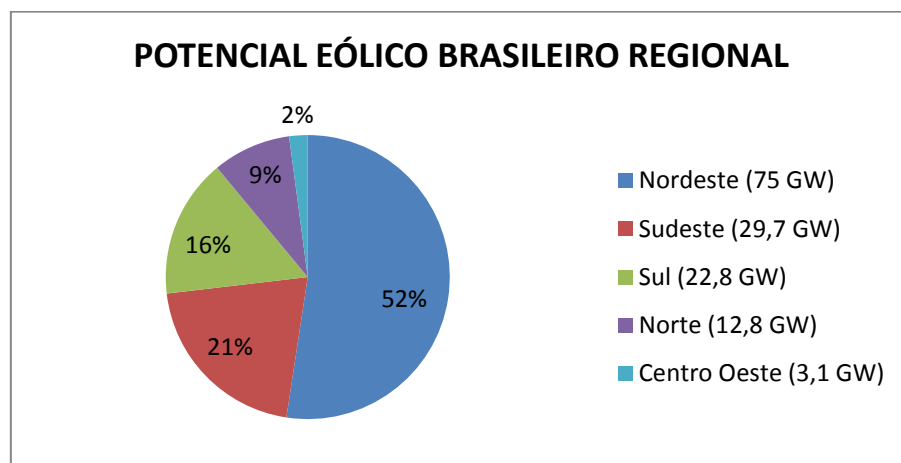


Figura 4. Potencial eólico brasileiro

Fonte: AMARANTE, *et.al.* (2001).

Nogueira (2011), atenta para a publicação de outros atlas eólicos mais recentes, cujas turbinas são maiores, conseqüentemente mais potentes, e a torre passa a ter 100 metros de

altura, dobrando seu tamanho com relação ao estado da arte de 2001 realizado pela CEPEL. As torres a 100 metros de altura tendem a duplicar a capacidade de energia disponível, uma vez que, a velocidade média dos ventos a esta altitude aumentam consideravelmente, desta forma o potencial eólico brasileiro tende a superar os 300 GW (RICOSTI, 2011). A Tabela 4, lista os atlas estaduais confeccionados a uma altitude de 75 metros.

Tabela 4. Potencial eólico estadual de acordo com os respectivos atlas

ESTADOS	FATOR DE CAPACIDADE (%)	POTENCIAL ESTIMADO (MW)		
		50m	75m	100m
Alagoas	21,7 - 30,3	173	336	645
Bahia*	25 - 32	5.600	14.460	-
Ceara*	22 - 32	5.800	24.500	-
Espirito Santo	23 - 30	125	448	1.143
Minas Gerais	24,6 - 31,8	10.600	24.700	35.000
Paraná	31 - 37,7	310	1.360	3.370
Rio de Janeiro	34,6 - 40,2	750	1.520	2.810
Rio Grande do Norte	32 - 42,5	9.600	19.400	27.100
Rio Grande do Sul	24 - 33	15.800	54.400	115.200

Fonte: RICOSTI (2011) *Exceções, medições realizadas a 70 metros.

Em consonância com Nogueira (2011), Simas (2012), reforça a necessidade não apenas de atualização do atlas eólico brasileiro com base em tecnologia comercialmente utilizada hoje, ou seja, com o uso de torres acima de 50 metros, bem como, suscita a complementariedade do potencial eólico ao sistema hidroelétrico, no qual ambos obedecem a uma sazonalidade, favorecendo a provisão energética brasileira, haja vista que, a velocidade do vento é maior quando o clima está seco e vice versa. Para Denault *et. al* (2009), tal complementariedade significa otimização do sistema elétrico brasileiro, pois a inserção de energia eólica em épocas de estiagem acumula energia em reservatórios hidrelétricos.

Não obstante ao potencial eólico pouco explorado no Brasil, não há registros de inventários eólicos *offshore* (no mar), revelando a falta apoio político, considerando o tamanho da costa litorânea do país.

No tocante a capacidade eólica instalada, de acordo com ANEEL (2010), apesar de não haver muitos dados relativos ao crescente uso da energia eólica no Brasil, devido à falta de incentivos e o elevado custo, o país totalizou 208MW de capacidade instalada em 2006,

acrescido de 29MW ao final do mesmo ano, logo em 2010, este número saltou com a inserção de 835MW, conforme Figura 5.

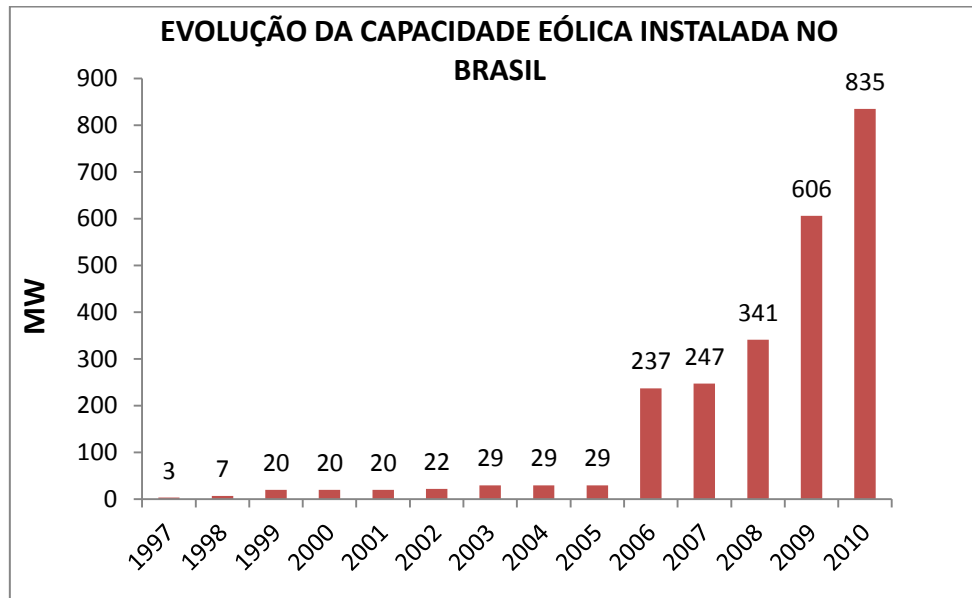


Figura 5. Evolução da capacidade eólica instalada no Brasil

Fonte: ANEEL (2010).

Com base na Figura 5, pode-se observar um “boom” na capacidade eólica instalada no Brasil a partir de 2006, tal fato é atribuído à criação pelo Ministério de Minas e Energia –MME do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 2002, formulado para solucionar a crise energética ocorrida no ano anterior a sua criação. Desta forma, o programa instituiu a instalação de empreendimentos eólicos, dentre outros de cunho sustentável, até dezembro de 2006.

O PROINFA foi desenvolvido a fim de diversificar a matriz energética brasileira, em regime de complementariedade sazonal à energia hidroelétrica, por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN), através de fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH’s), os quais somados totalizariam a contratação de 3.300 MW (ALVES, 2010).

Com o apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, o PROINFA contou com financiamentos de até 70% do empreendimento, dos quais 30% restante cabiam iniciativa dos investidores com capital próprio. Ainda com o intuito de estimular a adesão ao programa, a compra da energia gerada foi assegurada pela Eletrobrás por um período de 15 anos (BUTTERBY & FERREIRA, 2004).

O PROINFA, em sua primeira fase de implantação, alcançou a inserção de 1.423 MW de potência eólica com 54 projetos em funcionamento, apesar de ter aprovado 144 empreendimentos. (MME, 2004). A segunda fase do programa tinha como escopo alcançar 10% de participação das fontes alternativas nacionais na produção elétrica até 2026, todavia, esta etapa não obteve êxito por falta de uma política eficaz a longo prazo, que culminou em incertezas financeiras no setor (COSTA, 2006).

À luz dos insucessos nacionais no âmbito eólico, o PROINFA 2, ou a segunda etapa do programa, não foi o primeiro projeto nesta área que o governo desampara, a exemplo do Programa Emergencial de Energia Eólica – PROEÓLICA, criado em 2001, cuja a aspiração era a implantação de 1.050 MW no ano de 2003 e que nunca fora praticado, explicitando a falta de incentivos no setor.

Recentemente a Empresa de Pesquisas Energéticas- EPE (2011), responsável pela elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE lança projeções sobre a matriz energética nacional para 2020, apontando o crescente emprego da fonte eólica de 0,8% que representam 831 MW em 2011, saltando para 6,7% que totalizarão 11.532 MW em 2020.

2.5. Potencial Eólico Do Paraná

Mesmo sem vislumbrar a existência de potencial eólico aproveitável, as primeiras medições anemométricas realizadas no Estado do Paraná datam do ano de 1994 por meio da iniciativa da Companhia Paranaense de Energia- COPEL, com a inauguração do Projeto VENTAR, que consistia na identificação das áreas que ofereciam melhores condições de exploração do recurso eólico.

Em 1998, o projeto contava com 25 torres de medição de velocidade do vento, através das quais foram extraídos seus respectivos inventários, identificando nos campos de planaltos ventos acima de 6,5m/s, possibilitando a geração de 5,8 TWh/ano. No ano seguinte os dados coletados nas estações foram extrapolados para todo o estado a fim de confeccionar o Mapa do Potencial Eólico do Estado do Paraná.

Contrariando as expectativas o mapa sinalizou que as áreas com maior potencial eólico não eram as regiões litorâneas, mas aquelas com maior altitude como o município de Palmas no sul do estado. Esta constatação resultou na implantação da primeira usina eólica do sul do país, que opera desde fevereiro de 1999, com potência de 2,5 MW (CAMARGO, 2005).

A partir de 2003, foram realizadas novas medições anemométricas com o objetivo de lançar o atlas eólico do Paraná, esta proposta foi o resultado do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, gerenciado pela ANEEL, em parceria com a COPEL, que por sua vez buscava desenvolver nova metodologia de determinação do potencial eólico, o empreendimento contava ainda com a colaboração do LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) e da consultoria de Camargo Schubert Engenharia Eólica.

As áreas mais promissoras em recurso eólico do estado, indicadas em consonância com o mapa eólico de 1999, receberam a instalação de novas torres com 50 e 100 metros compatíveis com os atuais padrões da indústria eólica mundial. Assim, o Atlas do Potencial Eólico do Paraná foi publicado em 2007, contendo informações sobre a demografia do estado e seu respectivo consumo de energia elétrica, além de informações sobre infraestrutura e outras pertinentes ao tema energia eólica.

De acordo com o atlas, o Paraná possui um potencial de geração eólica 1.360 MW a 75m de altura para áreas com velocidade do vento igual ou superior a 7m/s que poderá ser inserido aos poucos ao sistema elétrico regional. Os maiores potenciais eólicos em microescala são observados nos municípios de Cascavel, Maringá, São Jerônimo da Serra, Castro, Tibagi, Palmas, Guarapuava e Serra do Quiriri entre Tijucas do Sul e Guaratuba (SCHULTZ, *et.al*, 2007), a Tabela 5 mostra a variação de velocidade do vento em função das diferentes alturas, haja vista o decréscimo da interferência de rugosidade e relevo com relação a maiores altitudes.

Tabela 5. Variação da velocidade do vento em função da altitude

Localização	50m	75m	100m
Cascavel	5,0	6,5-7,0	6,5-7,0
Maringá	5,0	6,5-7,0	6,5-7,0
São Jerônimo da Serra	6,5	7,0-7,5	7,0-7,5
Castro	6,5	7,0-7,5	7,0-7,5
Tibagi	6,5	7,0-7,5	7,0-7,5
Guarapuava	6,5	7,0	7,0
Palmas	7,0	7,5-8,0	7,5-8,0
Serra do Quiriri	7,0	7,0-9,0	7,0-9,0

Fonte: SCHULTZ, *et.al*. (2007).

A análise da Tabela 5 permite afirmar que os dados a 75m e 100m se repetem em todas as localidades, todavia, vale ressaltar que a 100m de altura o potencial eólico estende-se as regiões adjacentes dos municípios mais promissores, conforme as Figuras 6, 7 e 8. À exemplo do potencial eólico de Castro que a 100m aumenta a sua área de influência

apontando também Ponta Grossa com ventos a 6,5m/s, este modelo se aplica a todos os sítios citados na Tabela 5.

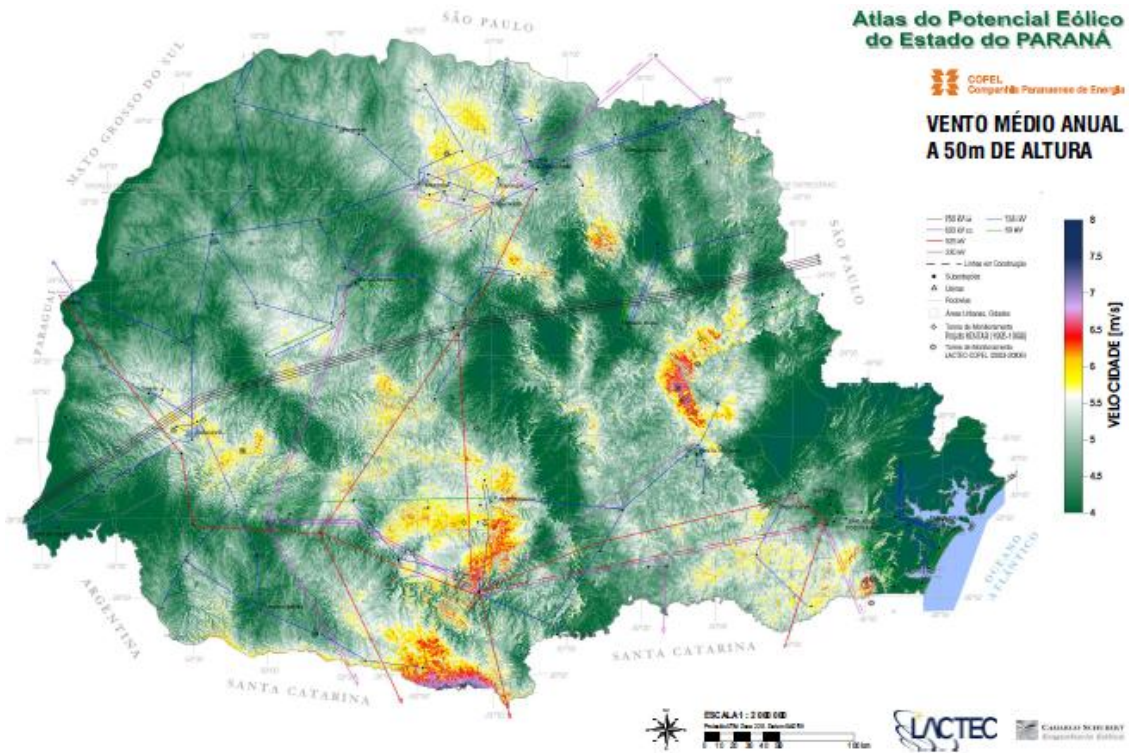


Figura 6. Velocidade do vento do Paraná a 50 metros

Fonte: SCHULTZ, *et.al.* (2007)

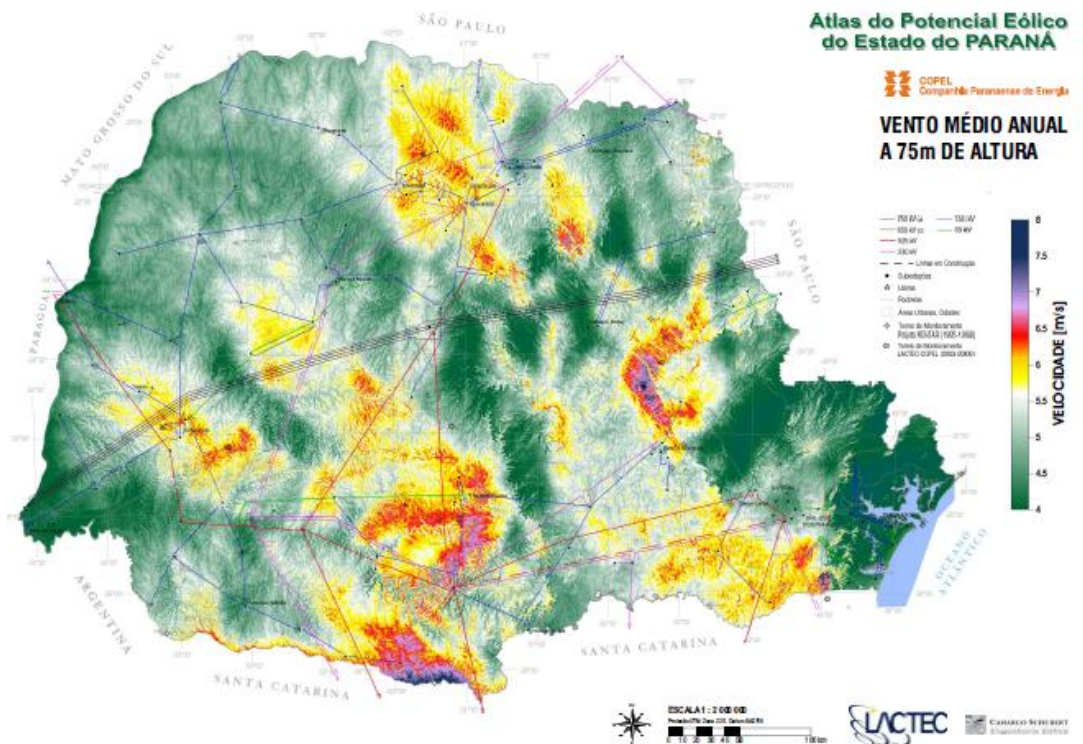


Figura 7. Velocidade do vento do Paraná a 75 metros

Fonte: SCHULTZ, *et.al.* (2007).

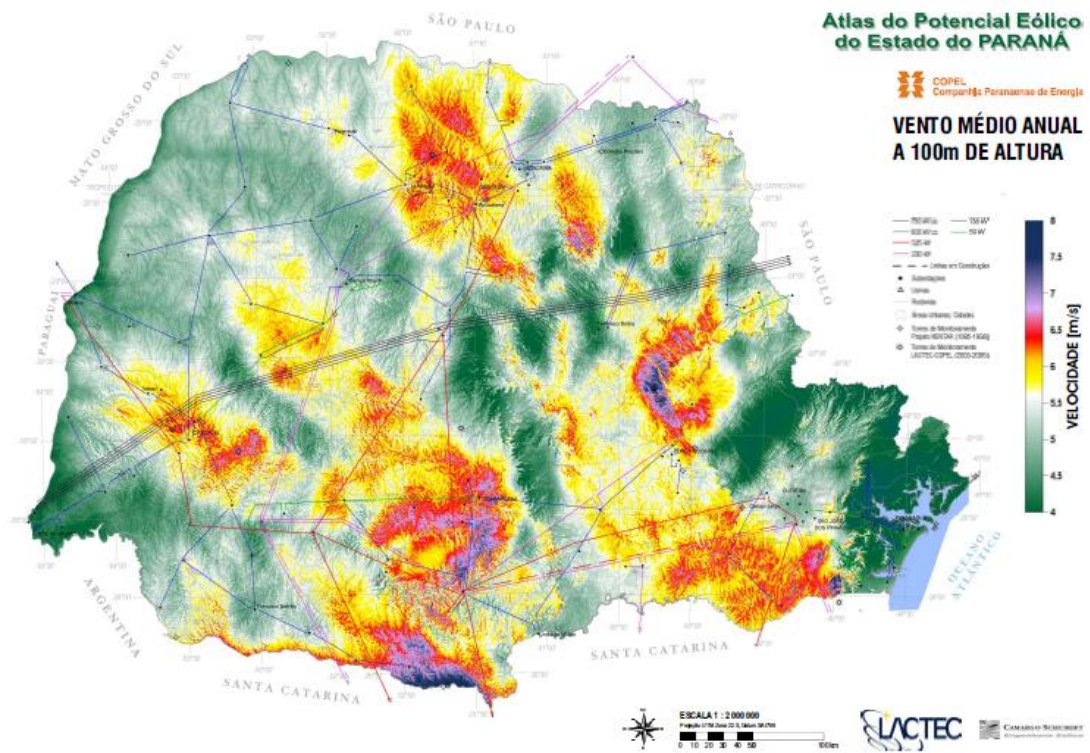


Figura 8. Velocidade do vento do Paraná a 100 metros

Fonte: SCHULTZ, *et.al.* (2007).

O atlas aponta ainda que a 50, 75 e 100m a sazonalidade distribui uma faixa de velocidades de ventos menores no verão e no outono, sendo que as maiores velocidades se dão no inverno seguido do verão. Por fim, o atlas chama a atenção da necessidade de análise em microescala, mesmo em face das áreas mais abundantes em potencial eólico, devido a variação de velocidade do vento em função das características locais de relevo, rugosidade e obstáculos.

2.6. Empreendimentos Eólicos

Os sucessivos investimentos tecnológicos realizados na área de recursos energéticos possibilitam a conversão de energia cinética contida nos ventos em energia mecânica a partir de ventos com velocidade de 2,5m/s (KRAUTER, 2005), podendo ser utilizado para o bombeamento de água. Tais bombas eólicas são acionadas via motor elétrico e este é alimentado por um aerogerador, geralmente de pequeno porte (LOPES, 2011). Hirata (2004), salienta que mesmo atualmente o bombeamento de água por fonte eólica continua sendo uma importante aplicação da energia eólica

Existem três tipos de centrais eólicas, as mais produtivas conhecidas como usinas eólicas são conectadas à rede integrando o sistema de geração distribuída, com capacidade instalada acima de 1MW, tendo a modalidade *offshore*, com aerogeradores instalados no mar. (DUTRA, 2008).

Há ainda as centrais minigeradoras cuja capacidade instalada varia de 1 MW a 100 kW e as centrais de microgeração de capacidade instalada menor a 100 kW com a utilização de aerogeradores de pequeno porte. Em ambos os casos, de acordo com a resolução da ANEEL número 482 de 2012, tais centrais podem ou não estar conectada à rede e permitindo o uso de mais de uma fonte de energia renovável como os sistemas híbridos, à exemplo dos sistemas eólico-fotovoltaicos (PINTO E NETO, 2012).

2.6.1. Micro e Minigeração Elétrica

Em abril de 2012, a ANEEL regulamentou as condições de micro e minigeração integradas ao sistema de distribuição de energia elétrica, assim como estabeleceu um meio de compensação de energia aos seus produtores, ou seja, a unidade geradora vai suprir a

demanda particular do proprietário do micro ou minissistema e o excedente poderá ser inserido na rede distribuidora (ANEEL,2014).

O caderno temático de micro e minigeração da ANEEL salienta que tais sistemas elétricos sejam provenientes obrigatoriamente de fontes renováveis como a energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou ainda por cogeração qualificada, ficando estabelecido que a análise da relação custo benefício da instalação da planta de micro ou minigeração é de inteira responsabilidade do consumidor, isentando a ANEEL de qualquer custo dos geradores ou mesmo eventuais condições de financiamento (ANEEL,2014).

De acordo com Pinto e Neto (2012), a microgeração é uma forma eficiente de aproveitamento da malha elétrica do país, além de serem sinônimos de economia por proporcionar redução nas perdas de rede de distribuição, assim sendo pode ser definida como geração de energia elétrica através de pequenas instalações, isto é, contam com plantas eólicas de escala pequena, realizadas por empresas, comunidades e indivíduos.

Para Mangas (2009), a vantagem da microgeração consiste em garantir o balanço entre a oferta e a demanda de energia elétrica minimizando o consumo nos horários de pico, possibilitar o aumento da autonomia e poder de decisão dos consumidores individuais e de comunidades locais, além de permitir também o abastecimento de energia de áreas isoladas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Localização do experimento

O município de Cascavel, bem como Assis Chateaubriand, Foz do Iguaçu, Guaíra, Palotina, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo pertencem a mesorregião do Oeste do Paraná, a qual possui uma área de 22.852.000 km², podendo ainda ser subdividida em 3 microrregiões: Toledo, Cascavel e Foz do Iguaçu. As microrregiões são atribuídas a hierarquia urbana, onde o maior grau de urbanização influenciam economicamente as cidades do entorno (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL-IPARDES, 2004)

Com 1.138.582 milhões de habitantes, a mesorregião Oeste é a terceira maior em termos populacionais, ficando atrás somente da mesorregião Metropolitana de Curitiba e da Norte Central (IPARDES 2004). A Figura 9 mostra a localização da mesorregião Oeste e os respectivos municípios em análise no presente trabalho:

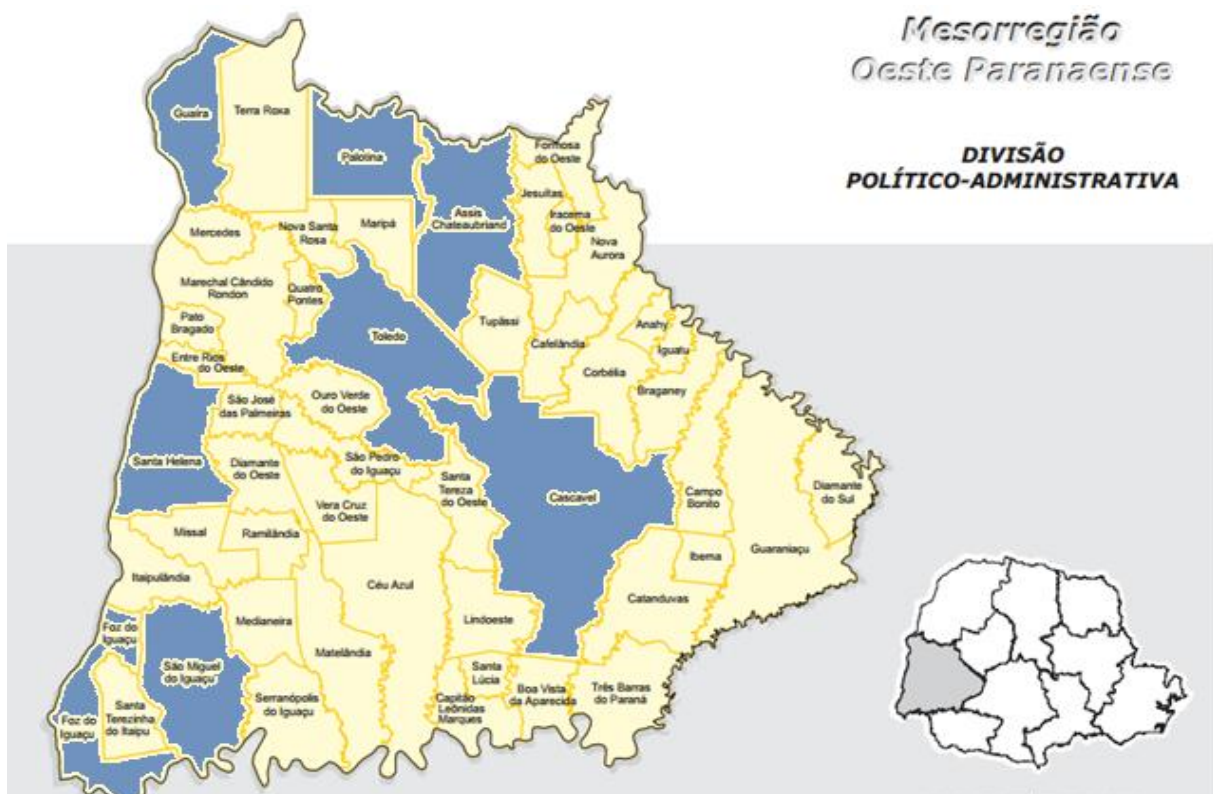


Figura 9. Localização da mesorregião Oeste do Paraná

Fonte: IPARDES (2004).

Localizada inteiramente no Terceiro Planalto do Paraná, a Mesorregião Oeste possui uma paisagem uniforme com suas mesetas, patamares e as extensas áreas de várzea do rio Paraná. O clima é diretamente influenciado pela altitude, portanto verifica-se em locais de menor altitude o Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa) com verões quentes e úmidos com geadas ocasionais, as médias de temperatura variam de 22° a 18°C, e a pluviosidade média é de 1500 mm. Já nas áreas de maior altitude ocorre o Subtropical Mesotérmico (Cfb) com verões frescos e geadas frequentes, a temperatura varia entre 20° a 16°C e a pluviosidade média é de 1700 mm (IPARDES, 2004).

O relevo plano e suavemente ondulado com solo tipo terra roxa devido a existência de rochas basálticas tornou a mesorregião um polo agroindustrial com a predominância do cultivo da soja, milho, trigo, além da avicultura, bovinocultura, suinocultura e piscicultura, desta forma a atividade agropecuária ocupa uma grande fatia do PIB regional (GONÇALVES, 2011).

3.1.2. Características Técnicas da Estação Meteorológica

Os dados de velocidade do vento foram coletados junto à 8 estações meteorológicas do Instituto Tecnológico SIMEPAR, localizadas conforme mostra a Tabela 6, abaixo:

Tabela 6. Localização das estações meteorológicas do SIMEPAR

Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Início
Assis Chateaubriand	-24,3886	-53,5411	450	1999
Cascavel	-24,8833	-53,5500	719	1997
Foz do Iguaçu	-25,4000	54,6167	232	1997
Guaíra	-24,0667	-54,2500	227	1997
Palotina	-24,3000	-53,9166	303	1997
Santa Helena	-24,9168	-54,3103	271	1997
São Miguel do Iguaçu	-25,3528	-54,2546	298	1997
Toledo	-24,7833	-53,7167	516	1997

Fonte: SIMEPAR

Os anemômetros são do modelo YOUNG 05103-11A, estão instalados a 10m de altura, cujas hélices em movimento de rotação produzem um sinal senoidal com frequência proporcional a velocidade do vento. Os dados emitidos são armazenados em um datalogger com transmissão a cada três horas por meio de satélite GOES. Sua banda de mediação é de

0,0 a 60m/s. Embora os anemômetros sejam calibrados a cada dois meses, os mesmos apresentam um erro de 0,3m/s. A Figura 10 mostra a estação de Cascavel.



Figura 10. Estação meteorológica do SIMEPAR-Cascavel

Fonte: SIMEPAR

3.1.3. Séries temporais

As variáveis adquiridas junto às estações meteorológicas supracitadas foram: velocidade do vento em m/s, pressão atmosférica em mbar e temperatura em graus Celsius. Todas as variáveis foram medidas a cada uma hora no intervalo de 01/01/2008 a 01/01/2012. Cada município apresenta cerca de 120.000 dados.

3.2. Metodologia

O tratamento estatístico dos dados de vento é a etapa inicial para viabilizar ou não a implantação de qualquer empreendimento eólico, seja qual for a sua dimensão e finalidade, pois o mesmo dará suporte para instalação de torres de medição anemométricas e consequentemente a confirmação do potencial eólico estimado.

Os métodos estatísticos aplicados à energia eólica expostos nesta seção (2.6) são baseados nos trabalhos de Prado (2009), Fernández Diez (2003) e Pinto (2013).

3.2.1. Método estatístico de tratamento da velocidade do vento

Os dados de velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura foram organizados em planilha eletrônica, uma vez que os mesmos não foram fornecidos sequencialmente. As séries históricas foram analisadas estatisticamente, através do software livre ACTION, desenvolvido pela empresa ESTATCAMP de São Carlos-SP, junto ao Laboratório de Energia – LENE, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, campus Cascavel.

O tratamento estatístico dos dados inicia-se pelo cálculo da velocidade média dos ventos, seguido da assimilação dos valores máximos e mínimos de velocidade, o desvio padrão e coeficiente de variação anual para cada estação meteorológica. A velocidade média dos ventos e o desvio padrão são obtidos respectivamente pelas equações abaixo:

$$V_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad \text{eq.05}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (V_i - V_m)^2} \quad \text{eq.06}$$

Onde:

V_m = velocidade média em m/s.

N = número de dados da série temporal.

V_i = representa um dado individual da velocidade em m/s.

σ = desvio padrão.

De posse destes foram elaborados os histogramas de frequência dos ventos, tais representações gráficas possibilitaram a visualização da faixa de velocidade do vento que ocorreu com maior frequência e como se distribuiu a sua intensidade dentro da série histórica.

Para descrever o comportamento do regime de vento e determinar qual o seu tipo predominante os dados foram submetidos à curva de distribuição de Weibull (eq.07), uma vez que a função densidade de probabilidade de Weibull possibilita a análise de séries históricas extensas (PINTO,2013).

$$P(V) = \frac{K}{V} \cdot \frac{V^{K-1}}{c} \cdot \exp\left\{-\frac{V^K}{c}\right\} \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

$P(V)$ = frequência de ocorrência de velocidade do vento.

V = velocidade horizontal estável do vento livre em m/s.

C = fator de escala de Weibull empírico em m/s, com valores próximos da velocidade média.

k = fator de forma de Weibull empírico adimensional, se caracteriza pela assimetria da função da probabilidade.

A seguir têm-se as equações dos fatores de escala C (PINTO, 2013) e de forma k (HIRATA, 2004) em função de Weibull, respectivamente:

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1.086} \quad \text{eq.08}$$

$$c = \frac{\bar{2}}{\sqrt{\pi}} \bar{v} \cong 1,128 \bar{v} \quad \text{eq.09}$$

Onde:

k = fator forma adimensional.

σ = desvio padrão.

V_m = velocidade máxima em m/s.

c = fator de escala em m/s.

π = 3,1415

\bar{v} = velocidade média em m/s.

Após o tratamento estatístico da velocidade do vento de todos os municípios à 10 metros de altura, os dados foram extrapolados para as alturas de 25 e 40 metros utilizando a Lei de Hellmann com grau de rugosidade 0,20 típico de zonas rústicas, conforme a equação abaixo (eq. 10), com o resultado da extrapolação foram confeccionados os seus respectivos histogramas e distribuição de Weibull (FERNANDEZ DIEZ, 2003).

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \text{eq.10}$$

Onde:

V_h = velocidade do vento à altura “h”, em m/s.

V_{10} = velocidade do vento à altura de 10m, em m/s.

α = expoente de Hellmann em função da rugosidade do terreno.

3.2.2. Método de determinação da potência eólica

Com a velocidade do vento extrapolada tem-se a potência específica ou densidade de potencial eólico, que possibilitou identificar a potencialidade do vento para a geração de energia elétrica, a mesma foi calculada pela equação abaixo (PINTO, 2013):

$$P = \frac{1}{2N} \rho \sum_{n=1}^N V_i^3 \quad \text{eq.11}$$

Onde:

P = potência específica em W.

N = número de dados da série histórica.

ρ = densidade do ar no local considerado em kg/m³.

V_i = dado individual de velocidade.

A potência específica fora ajustada através da densidade de potência corrigida para cada município. A densidade de potência é proporcional à densidade do ar, inversamente proporcional à temperatura ambiente e diretamente proporcional à pressão atmosférica, portanto, as condições locais corrigidas se deram por meio da subseqüente equação:

$$\rho_{cor} = 1.225 \left(\frac{288.15}{T_s} \right) \left(\frac{P_s}{1013.3} \right) \quad \text{eq.12}$$

Onde:

ρ_{cor} = densidade de potencia corrigida em kg/m³.

T_s = temperatura média em °K.

P_s = pressão média do local da medição em mbar.

Por fim com o intuito de obter a potência do sistema eólico desprezando as perdas de energia do aerogerador, utilizou-se o Teorema de Betz, que demonstra que a passagem do vento pelo rotor ocasiona a diminuição de sua velocidade, desta forma a área da vazão de ar que entra pela pá é menor que àquela que sai do rotor. Betz postulou ainda que a potência total existente em uma corrente de vento tem como valor máximo aproveitável apenas 59,3% do total e portanto, a velocidade que entra na turbina é igual a 1/3 da velocidade que sai. Assim o teorema expressa-se pela equação abaixo (PINTO,2013):

$$P = \frac{1}{2} \times cp \times n \times \rho \times A \times v^3 \quad \text{eq.13}$$

Onde:

P= potência do aerogerador W/m².

cp= coeficiente da potencia de Betz.

n= eficiência eletromecânica.

ρ = densidade de potencia kg/m³.

A= área da pá em m².

v= velocidade média do vento em m/s.

3.2.3. Método de Simulação de Energia Anual Gerada

A fim de converter o potencial eólico calculado em energia disponível, foi realizada uma simulação com o software livre EOLUSOFT versão beta 1.0, desenvolvido pelo Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente – NUTEMA da Pontifícia Universidade Católica-PUC do Rio Grande do Sul.

O EOLUSOFT permite selecionar itens que consomem energia elétrica dentro de uma residência, calculando a demanda de energia anual permitindo sua comparação com a energia anual disponível, o mesmo pode ser visualizado na Figura 11. A conversão da potência eólica em energia se dá no componente de sistemas eólicos, no qual são inseridos os valores de velocidade média do vento, fator de escala (C) e forma (k) da distribuição de Weibull, além dos dados de temperatura, pressão atmosférica e altitude da localidade escolhida, como pode ser observado na Figura 12.

EoluSoft - Versão Beta 1.0 NUTEMA - PUCRS

Arquivo Opções Ajuda

Consumo | Recursos Energéticos | Sistema Eólico | Sistema Fotovoltaico | Sistema Híbrido | Baterias | Cabos

Lâmpadas

	Potência (W)	Quantidade	Horas/Dia	Dias/Semana	Consumo/Dia (Wh)
Televisão	Color 20"	0	0	0	0
Radio	55	0	0	0	0
Bomba d' água	500	0	0	0	0
Cafeteira	450	0	0	0	0
Geladeira	240 L	0	0	0	0
Freezer	70	0	0	0	0
Ventilador	100	0	0	0	0
Carregador Celular	1,5	0	0	0	0
Computador	150	0	0	0	0
Impressora (Tinta)	45	0	0	0	0
Videocassete	75	0	0	0	0
Fax	30	0	0	0	0

✓ Total

Figura 11. Software com simulação de energia anual consumida

EoluSoft - Versão Beta 1.0 NUTEMA - PUCRS

Arquivo Opções Ajuda

Consumo | Recursos Energéticos | Sistema Eólico | Sistema Fotovoltaico | Sistema Híbrido | Baterias | Cabos

Dimensionamento Gráficos

Estado:
Cidade:

Ref. Turb.
Vm m/s
c m/s
k

Altura de Referência
 m

Altura da Turbina
 m

Distribuição
 Weibull
 Rayleigh

Massa Específica do Ar
 Nivel do mar
T °C Z m
P kPa
 Calcular
Massa Específica = kg/m³

Tipo de Turbina
Tipo de Turbina

Tipo de Terreno
Tipo de Terreno
Classe do Terreno (Zo)
Classe do Terreno

Tipo de Dimensionamento
 Sistema Eólico Sistema Híbrido

ENERGIA ANUAL GERADA
 kWh
E A G

ENERGIA ANUAL REQUERIDA
 kWh

SISTEMA
Turbina:
Potência Nominal:
Diâmetro do Rotor:
Rotação Nominal:
Velocidade Nominal:

Figura 12. Software com simulação de energia gerada pelo sistema eólico

O programa possui ainda uma série de aerogeradores com os quais se pode realizar a simulação, desde geradores de pequeno a grande porte, como o presente trabalho visa a micro e minigeração optou-se pelos modelos AIR 403 e LMW 600, típicos de pequeno empreendimentos eólicos, cujas especificações técnicas são fornecidas na Tabela 7 abaixo, sendo que o AIR 403 é fabricado pela empresa americana Southwest Wind Power e o LMW 600 pela empresa dinamarquesa Lm Wind Power.

Tabela 7. Especificação técnica dos aerogeradores

Especificação Técnica	AIR 403	LMW 600
Área do rotor	2,1 m	2,2 m
Potência nominal	400 W	600 W
Rotação nominal	2000 rpm	680 rpm
Velocidade inicial	3 m/s	3,5 m/s
Velocidade nominal	11,2 m/s	12 m/s

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados por municípios contendo inicialmente os dados de velocidade do vento e conseqüente potencial eólico, seguido dos resultados relativos a simulação de energia anual gerada.

4.1. Resultados da Velocidade do Vento e Potencial Eólico

Os dados relativos à velocidade do vento são mais expressivos à altura de 40 metros em todos os municípios, haja vista, a menor interferência da rugosidade do terreno no cisalhamento do vento com plano sob o qual percorre.

4.1.1. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Assis Chateaubriand

Para Assis Chateaubriand a estação do ano com maior velocidade do vento foi a primavera, seguida do inverno, tais resultados são semelhantes ao Atlas do Potencial Eólico do Paraná no qual a média de ventos são mais intensas no inverno e posteriormente na primavera (SCHULTZ, et. al., 2007). As médias de velocidade do vento por estações do ano podem ser verificadas no Apêndice 1.

A Tabela 8 mostra a velocidade média dos ventos de Assis Chateaubriand para as três alturas extrapoladas e em todos os casos os resultados foram superiores a 3 m/s. O coeficiente de variação fica em torno de 55% é um valor comumente encontrado na literatura que descreve séries históricas de ventos. Para Sobral (2009), o município de Riachão do Dantas-SE apresentou as melhores médias de vento e conseqüente melhor potencial eólico dentre as localidades analisadas, mesmo tendo um coeficiente de variação de 56%.

Tabela 8. Estatística descritiva da velocidade do vento de Assis Chateaubriand

	10 metros	25 metros	40metros
Média	3,12	3,75	4,12
Desvio Padrão	1,73	2,08	2,29
Máximo	14,15	16,99	18,67
Mínimo	0	0	0
Coeficiente de Variação (%)	55,65	55,47	55,58

A Figura 13, mostra o histograma de frequência de Assis à 10 metros de altura, sendo que a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 2,0 a 3,9 m/s. Já para as alturas de 25 e 40 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 3,0 a 4,9 m/s, de acordo com as Figuras 14 e 15, respectivamente. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro indica que a velocidade de Assis Chateaubriand a 50 metros foi de 4,5 m/s valor próximo dos 4,12 m/s encontrados aos 40 metros de altura (AMARANTE, et.al, 2001). Já para o Atlas do Atlas do Potencial Eólico do Paraná os valores a 50 metros são de 5 m/s (SCHULTZ, et. al., 2007).

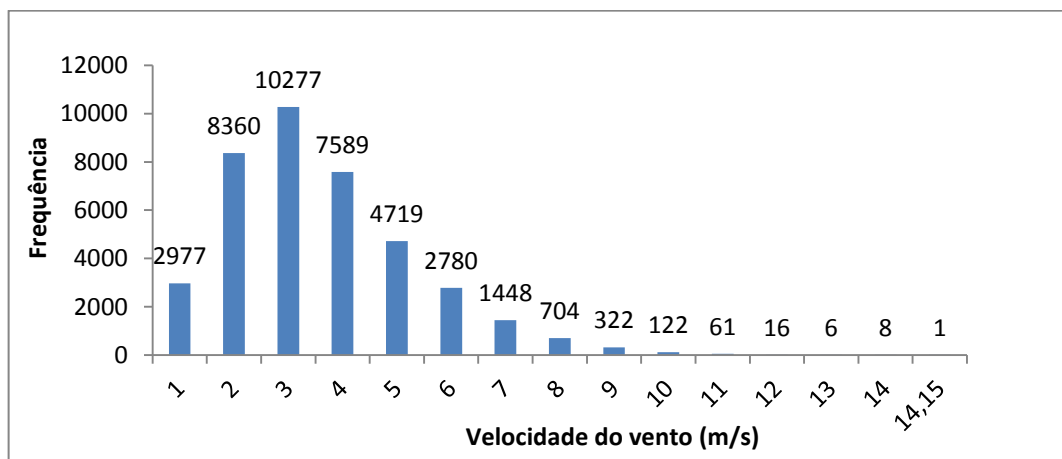


Figura 13. Histograma Frequência de Assis Chateaubriand a 10 metros

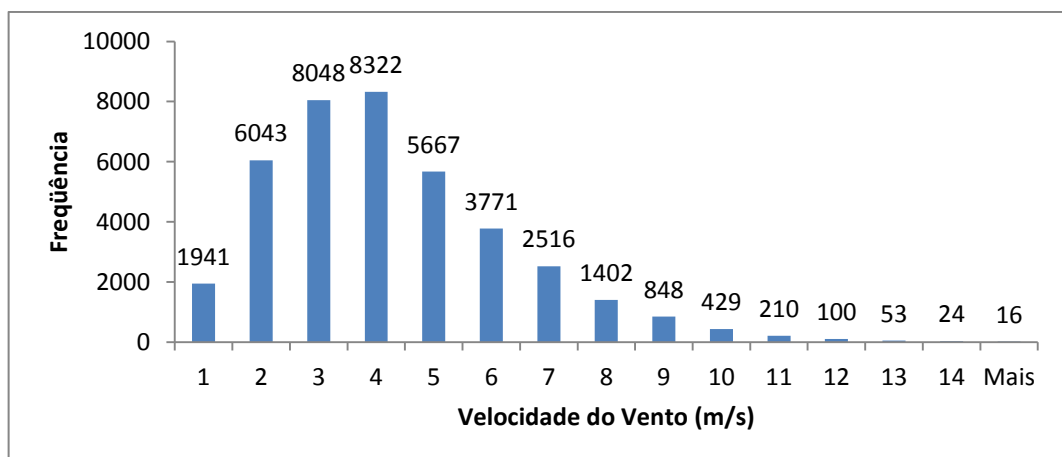


Figura 14. Histograma de Frequência de Assis Chateaubriand a 25 metros

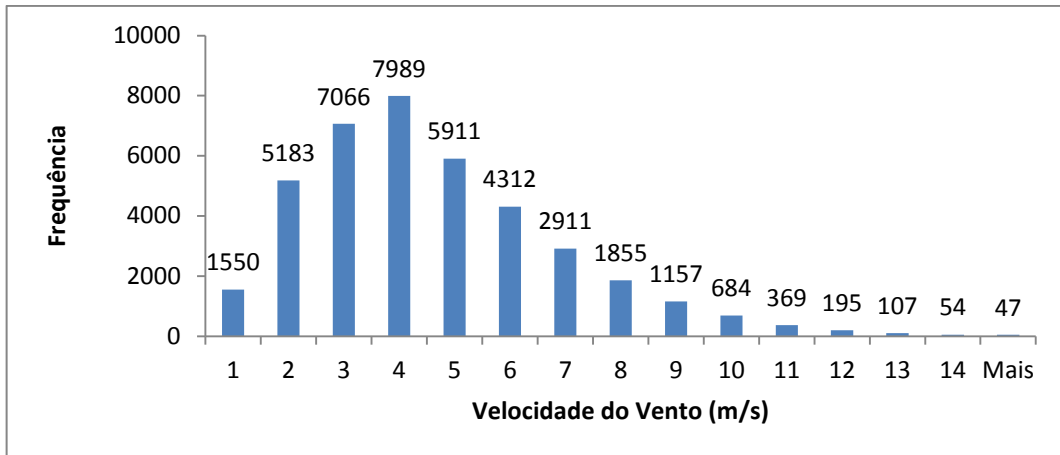


Figura 15: Histograma de Frequência de Assis Chateaubriand a 40 metros.

A Tabela 9 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull, para as três alturas em questão:

Tabela 9. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Assis Chateaubriand.

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,89	1,89	1,89
Fator de Escala (C)	3,53	4,24	4,65

O fator k revela a curva de distribuição de Weibull que em condições perfeitas é simétrica como uma curva de distribuição normal. Para Justos et . al. (1978), quanto maior for o valor de k menor será a variância da velocidade dos ventos.

Locais com valores de fator forma k entre 1,6 a 2 possui um fluxo de ventos pouco turbulento (ALÉ e PEREIRA, 2003), em que a maior ocorrência de ventos é um pouco abaixo da velocidade média, como no caso de Assis Chateaubriand. Favera et. al. (2012), com o mesmo fator de forma de 1,89, obteve em São Miguel da Serra-RS uma média de ventos de 4,74 m/s na estação do inverno a 25 metros de altura.

A maior assimetria a direita indica maior incidência dos ventos entre 2 a 4 m/s, representado na Figura 16, aos 10 metros de altura e ventos menores que 5 m/s para as alturas de 25 e 40 metros representados nas Figuras 17 e 18, respectivamente.

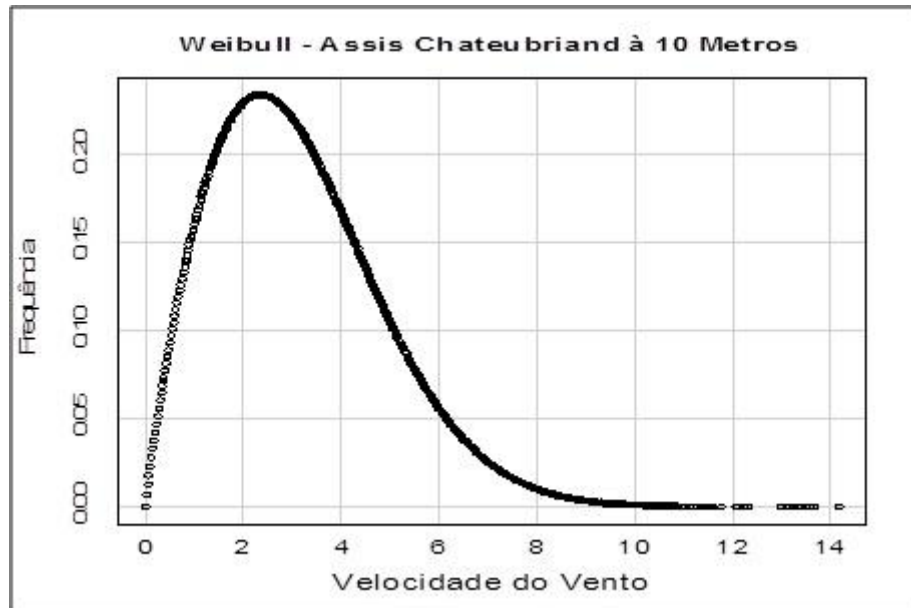


Figura 16. Distribuição de Weibull a 10 metros de Assis Chateaubriand

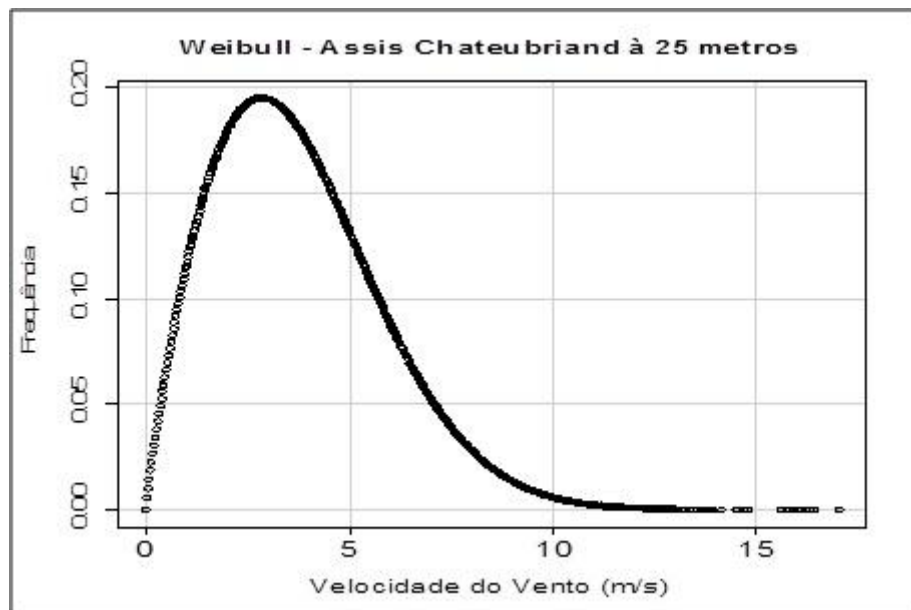


Figura 17. Distribuição de Weibull a 25 metros de Assis Chateaubriand

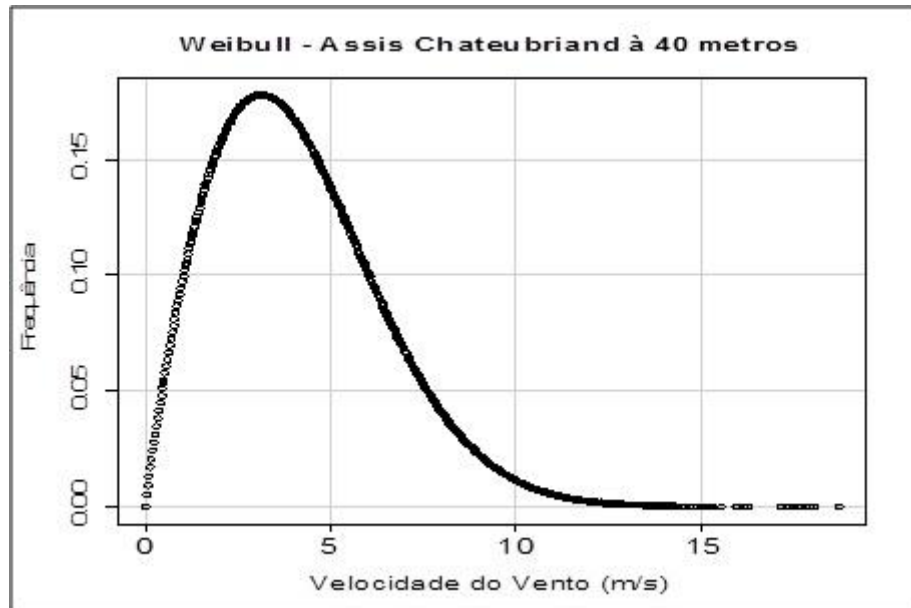


Figura 18. Distribuição de Weibull a 40 metros de Assis Chateaubriand

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Assis Chateaubriand, em sua maioria, são do tipo brisas. O potencial eólico do município foi de 21,67 W/m², 37,56 W/m², e 49,80 W/m², para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente considerando a Lei de Betz, caracterizando um baixo potencial. Tal resultado foi semelhante ao de Miguel (2004), quando ao determinar o potencial eólico de municípios do estado de São Paulo, encontrou em Barra Bonita um potencial de 23,8 W/m², 30,5 W/m² e 54,00 W/m² para as faixas velocidade do vento de 3,5 m/s, 3,8 m/s e 4,6 m/s.

Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de implantar um micro empreendimento eólico, haja a vista que a atual tecnologia de pequeno aerogeradores produzem eletricidade com ventos a partir de 2,75 m/s. Todavia, vale lembra que a curva de distribuição de Weibull indicam ventos do tipo brisa em sua maioria. A fim de aumentar a energia anual gerada pode-se optar pela cogeração através de um sistema híbrido.

4.1.2. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Cascavel

Cascavel apresentou as maiores médias de velocidade do vento durante o inverno, seguido da estação da primavera, idênticos ao potencial sazonal obtido no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 10 mostra a velocidade média dos ventos de Cascavel constatando que nas três alturas extrapoladas os ventos foram superiores a 4,03 m/s, esta média de ventos foram as maiores em concordância com o menor coeficiente de variação de 45%, encontrados dentre os municípios analisados. Santos et. al. (2009), ao verificar o coeficiente de variação mensal dos ventos no campus da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel-PR, encontrou um coeficiente de variação de 46,18% em novembro, sendo que nos demais meses estes valores foram menores. Tal dado confirma um regime de ventos mais concentrado em torno da velocidade média dos ventos.

Tabela 10. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Cascavel

	10 metros	25 metros	40metros
Média	4,03	4,84	5,32
Desvio Padrão	1,85	2,22	2,44
Máximo	24,9	29,90	32,85
Mínimo	0	0	0
Coeficiente de Variação (%)	45,91	45,87	45,86

Os ventos de maior ocorrência a 10 metros foi entre 3 e 5,9m/s, conforme a Figura 19. Já para a altura de 25 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 4,0 a 5,9m/s, de acordo com a Figura 20. E por fim para a altura de 40 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 5,0 a 6,9m/s, de acordo com a Figura 21. Cascavel apresenta ventos de 6 m/s aos 50 metros no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o mesmo valor encontrado no presente estudo aos 40 metros (AMARANTE, et. al, 2001). No Atlas do Potencial Eólico do Paraná, Cascavel apresenta ventos de 6,5 m/s (SCHULTZ, 2007).

Todavia, o trabalho de Santos et. al.(2009), não encontrou valores médios de velocidade do vento acima de 3 m/s, porém é importante ressaltar que os dados foram coletados junto a área urbana do município em questão, onde o vento tem sua velocidade decrescida uma vez que passa por inúmeras barreiras. O mesmo ocorreu com Parizotto et.al (2012) onde as médias mensais de ventos de Cascavel não ultrapassaram os 3,5 m/s. E também com Bentes (2014), que encontrou uma média de 2,37 m/s.

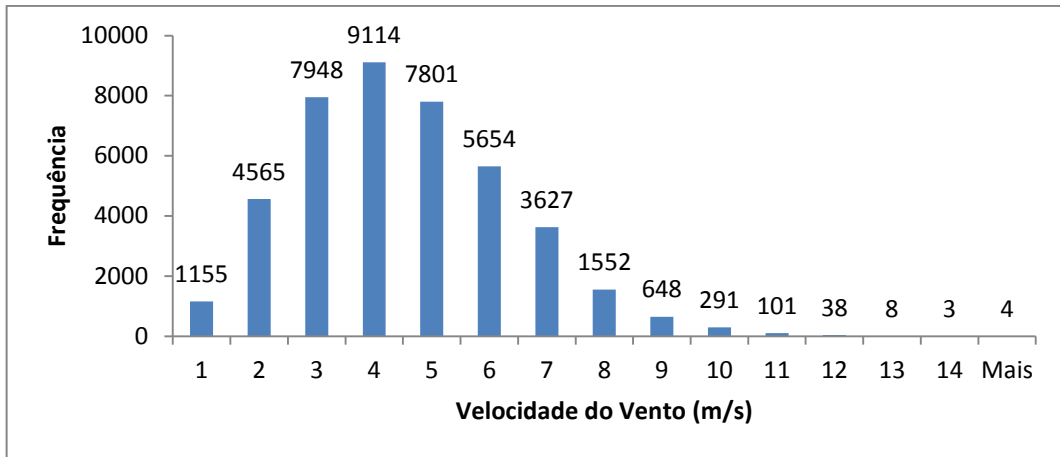


Figura 19. Histograma de Frequência de Cascavel a 10 metros

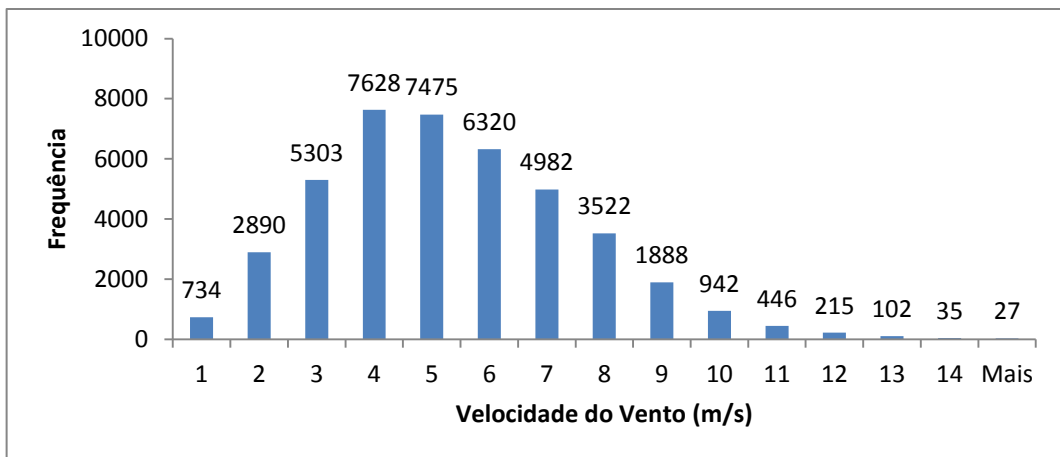


Figura 20. Histograma de Frequência de Cascavel a 25 metros

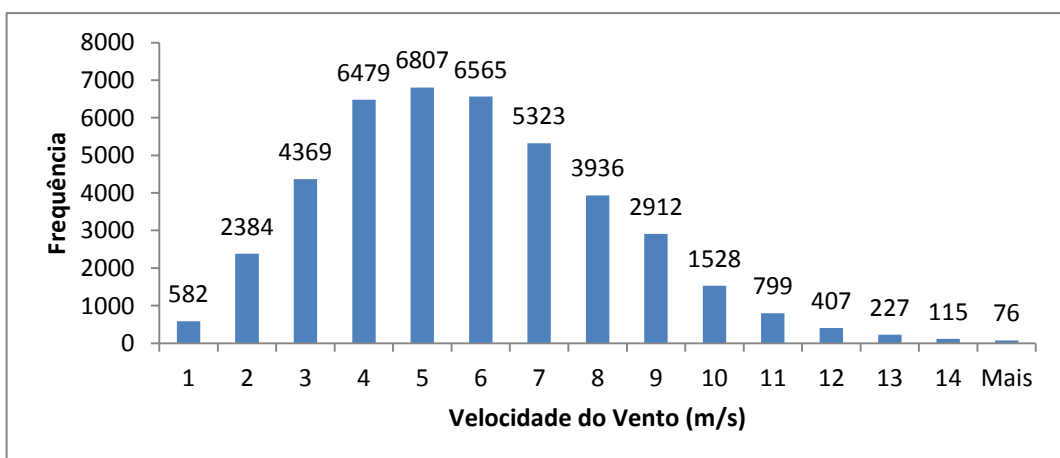


Figura 21. Histograma de Frequência de Cascavel à 40 metros

A Tabela 11 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k(forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 11. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Cascavel

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	2,33	2,33	2,33
Fator de Escala (C)	4,55	5,47	6,01

Dos municípios analisados, Cascavel apresentou o maior valor do fator de forma, que caracteriza a curva de distribuição de Weibull, ou seja, quanto maior o valor de k, maior a uniformidade da curva e conseqüentemente maior é a uniformidade das velocidades do vento acerca da média dos mesmos.

Alé e Pereira (2002) classificam os valores de k acima 2, à exemplo de Cascavel, como um local de regime de ventos de baixa turbulência e intensos, são regularmente ventos em grande altitudes e considerado bom para o aproveitamento do recurso eólico. Vale ressaltar que este valor do fator de forma foi semelhante ao apresentado pelo Atlas do Potencial Eólico do Paraná, no qual Cascavel possui um k de 2,4 (SCHULTZ, 2007).

Lopes (2011), ao realizar a curva de distribuição de Weibull para cada mês do ano com relação aos dados de velocidade do vento da Estação de Engenharia de Pesca no campus da Universidade Federal do Ceará, encontrou no mês de junho o fator de forma de 2,3, sendo que a maior ocorrência de velocidade do vento foi 3 a 4 m/s.

A Figura 22, revela que a distribuição de Weibull indica maior incidência de ventos inferiores que 5 m/s aos 10 metros, já para as demais alturas a distribuição de Weibull mostra uma curva mais semelhante a distribuição normal com ventos predominantemente maiores ou iguais a 5 m/s, conforme as Figuras 23 e 24 abaixo:

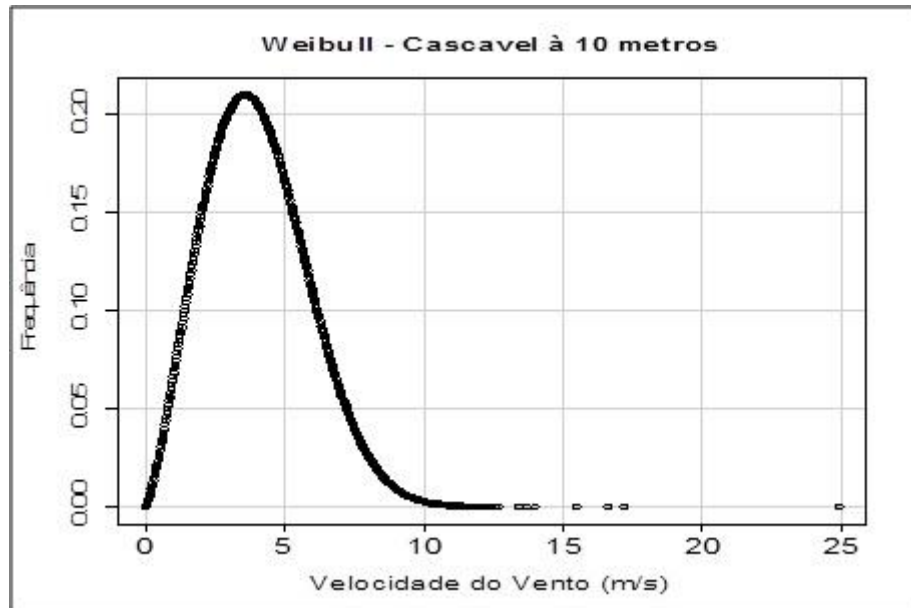


Figura 22. Distribuição de Weibull a 10 metros de Cascavel

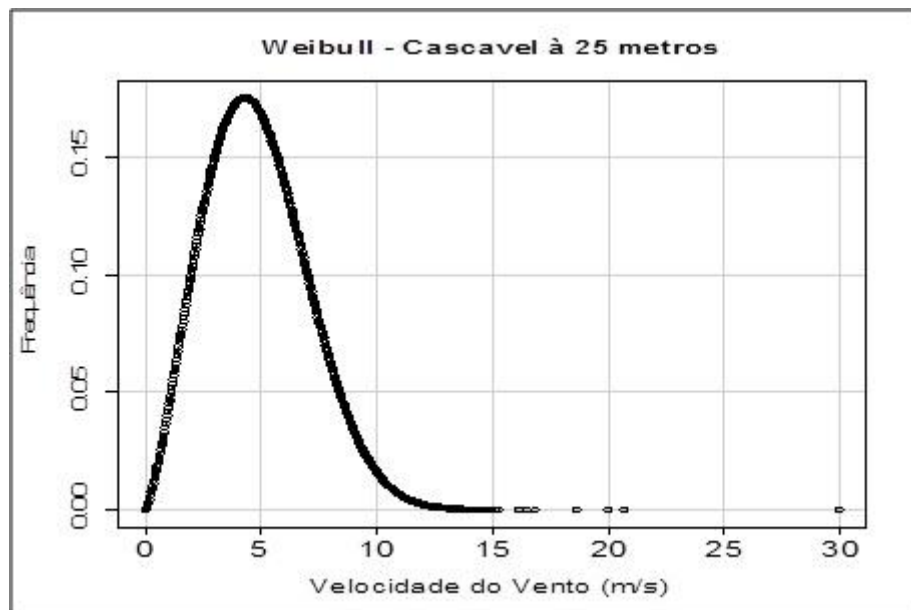


Figura 23. Distribuição de Weibull a 25 metros de Cascavel

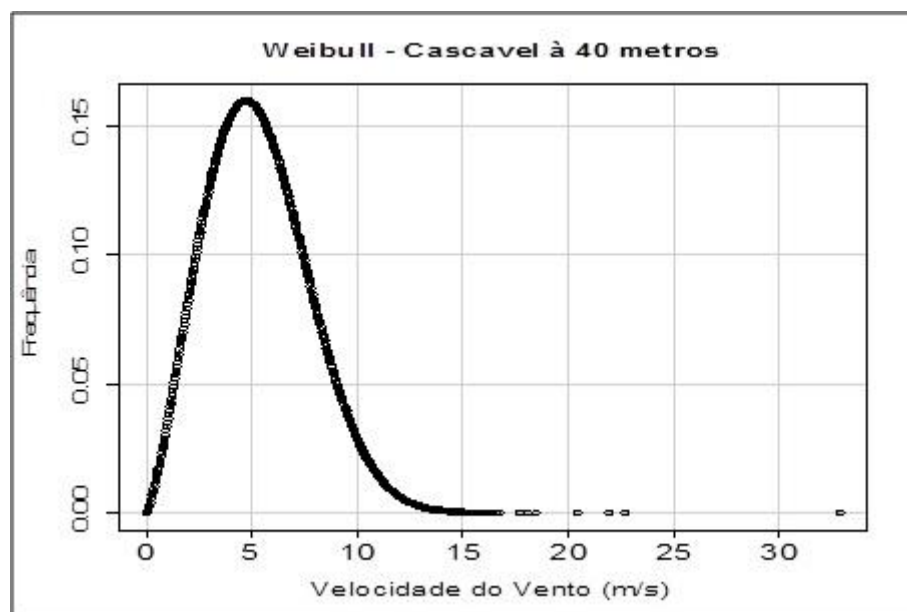


Figura 24. Distribuição de Weibull a 40 metros de Cascavel

Conforme a classificação de Fernández Diez (2003) os ventos de Cascavel em sua maioria são do tipo ventos moderados e brisas. O potencial eólico do município foi de 36,56 W/m², 63,36 W/m², e 84,00 W/m², para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente considerando a Lei de Betz, caracterizando um bom potencial eólico para regime de microgeração. Miguel (2009), constatou que o maior potencial eólico dentre as localidades estudadas, foi de Ilha Moela com um potencial de 55,3 W/m² para ventos de 4,59 m/s.

4.1.3. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Foz do Iguaçu

A estação do ano com maiores médias de velocidade do vento para Foz do Iguaçu ocorreu no verão seguido da primavera, contrariando as melhores médias sazonais do Atlas do Potencial Eólico do Paraná, cujas velocidades são menores no verão (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 12 mostra a velocidade média dos ventos de Foz do Iguaçu com a qual nota-se que os mesmos não atingiram sequer 2,1 m/s, caracterizando a pior média de ventos dentre os municípios averiguados. O seu coeficiente de variação foi em torno de 71% que caracteriza grande heterogeneidade dos dados. Cabe ressaltar que Krauter (2005), afirma que a conversão do recurso eólico em eletricidade só é viável com ventos acima de 2,75 m/s.

Tabela 12. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Foz do Iguaçu

	10 metros	25 metros	40metros
Média	1,54	1,85	2,04
Desvio Padrão	1,10	1,33	1,46
Máximo	24,7	29,64	32,59
Mínimo	0	0,00	0,00
Coefficiente de Variação (%)	71,42	71,89	71,57

A faixa de frequência de maior ocorrência para as três alturas em questão foi de 1,0 a 2,9 m/s, conforme as Figuras 25, 26 e 27. Nota-se uma grande ocorrência de ventos na faixa de 1 m/s que são incapazes de movimentar as pás de aerogeradores, uma vez que a tecnologia conhecida para turbinas de pequeno porte admite velocidade de partida a partir de 2,75 m/s. No levantamento do potencial eólico do estado de São Paulo, os municípios com velocidade média inferiores a 1,5 m/s, que compreende Casa Grande e Ubatuba, foram tidos como inaptos no aproveitamento do recurso eólico (MIGUEL, 2009).

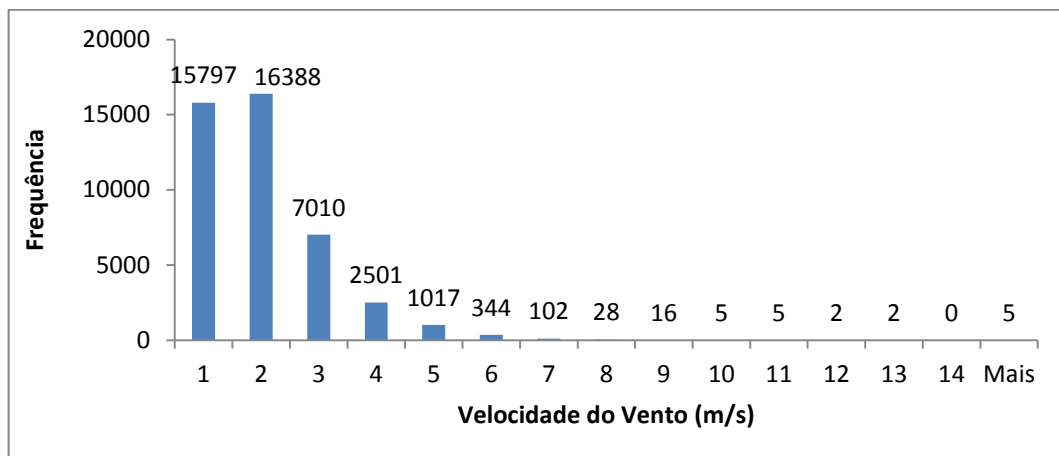


Figura 25. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 10 metros

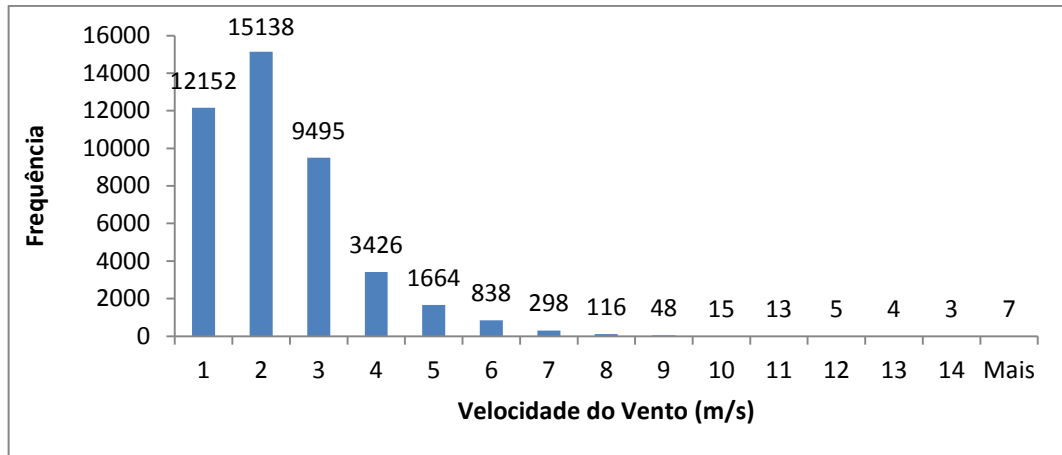


Figura 26. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 25 metros

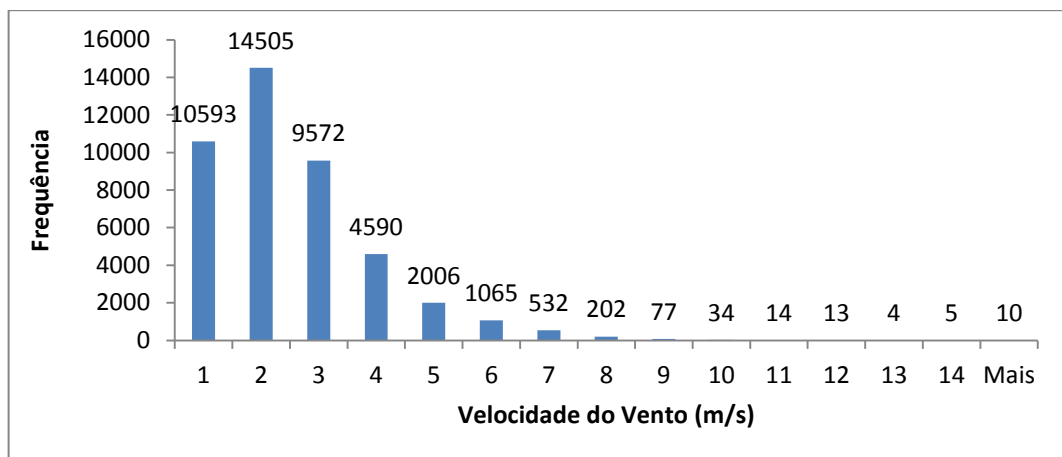


Figura 27. Histograma de Frequência de Foz do Iguaçu a 40 metros

A Tabela 13 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull, para as três alturas em questão:

Tabela 13. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Foz do Iguaçu

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,43	1,43	1,43
Fator de Escala (C)	1,74	2,09	2,30

Segundo a classificação de Alé e Pareira (2003), os valores de k compreendidos entre 1 a 1,6 são típicos de ventos ligeiramente turbulentos, do tipo vale e montanha. Amarante et. al.(2001), ao explicar sobre distribuição de Weibull exibe uma curva muito semelhante a de Foz do Iguaçu com valores de k iguais a 1,5, representando uma curva com intensa inclinação

à direita. O fator de forma de Foz do Iguaçu constitui uma grande assimetria mais à direita que indica incidência de ventos menores que 5 m/s, em todas as alturas, sendo que a maior ocorrência de ventos são da faixa de 2,5 m/s, representado nas Figuras 28, 29, e 30 abaixo:

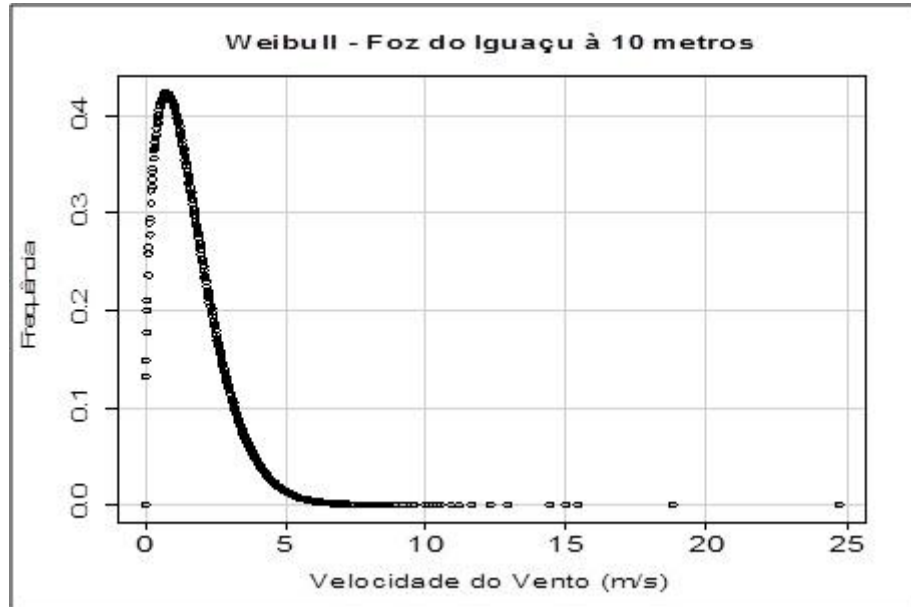


Figura 28. Distribuição de Weibull a 10 metros de Foz do Iguaçu

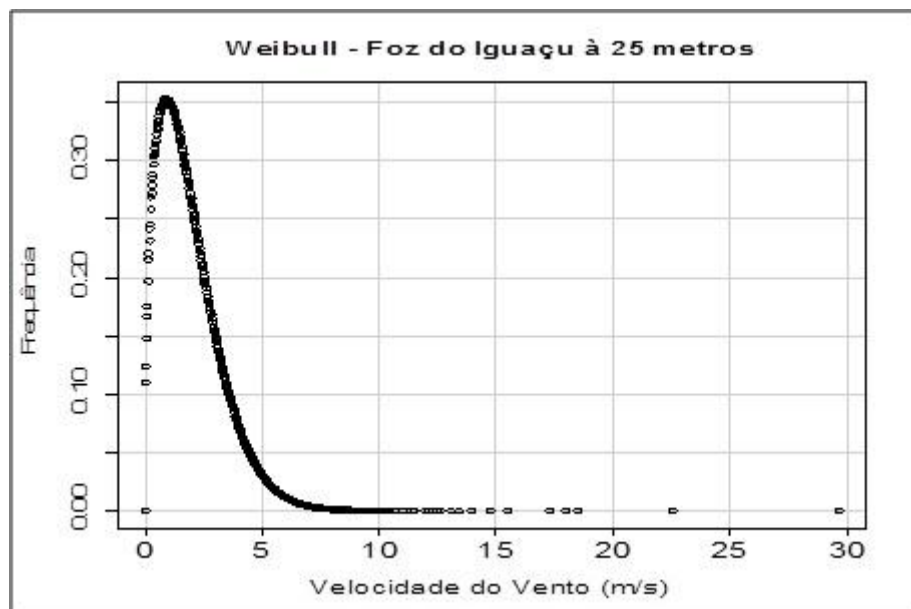


Figura 29. Distribuição de Weibull a 25 metros de Foz do Iguaçu

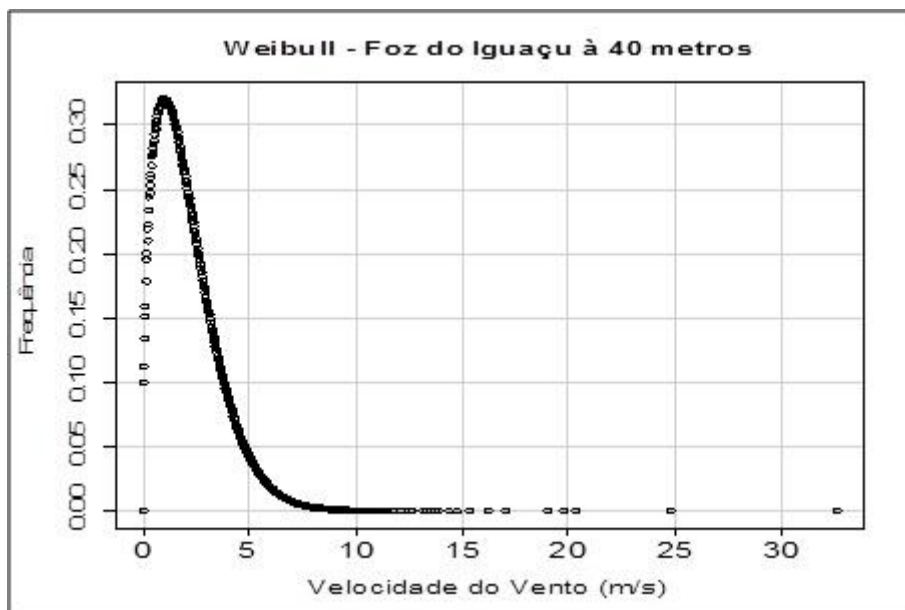


Figura 30. Distribuição de Weibull a 40 metros de Foz do Iguaçu

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Foz do Iguaçu em sua maioria são do tipo calmaria. O potencial eólico do município foi de 4,13 W/m², 7,14 W/m², e 9,49 W/m² para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente considerando a Lei de Betz, resultando em valores irrisórios que não viabilizam um projeto eólico mesmo que em regime de microgeração. Santos et. al (2009) também obteve um baixo potencial eólico de 4,05 W/m² para Cascavel, todavia, este valor foi gerado em um mês e o mesmo é equivalente ao potencial anual de Foz do Iguaçu a 10 metros.

4.1.4. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Guaíra

O município de Guaíra apresentou as maiores médias de velocidade do vento na primavera seguido do verão, resultado semelhante à Foz do Iguaçu, ambos contrariam a sazonalidade do Atlas do Potencial Eólico do Paraná, cujas velocidades são menores no verão (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 14 mostra a velocidade média dos ventos de Guaíra, os quais se concentram na faixa de 2 a 2,72 m/s média inferior 2,75 m/s estabelecida por Krauter (2005) como necessária para a conversão do recurso eólico em energia elétrica. O coeficiente de variação foi entorno de 70% mais uma vez lembrando os dados de Foz do Iguaçu.

Tabela 14. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Guaíra

	10 metros	25 metros	40 metros
Média	2,06	2,48	2,72
Desvio Padrão	1,45	1,75	1,92
Máximo	39,80	47,80	52,52
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Coefficiente de Variação (%)	70,39	70,56	70,59

A faixa de frequência de maior ocorrência a 10 metros foi entre 1,0 a 2,9m/s, conforme a Figura 31. Já para as alturas de 25 e 40 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 2,0 a 3,9m/s, de acordo com as Figuras 32 e 33, respectivamente. O aumento da velocidade do vento aos 25 e 40 metros ocasionou uma maior concentração de dados na faixa de 3 m/s, sinalizando uma situação um pouco melhor do que a encontrada em Foz do Iguaçu. De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, os ventos de Guaíra são de 4 m/s à 50 metros (AMARANTE et.al, 2001). Os mesmos valores foram encontrados no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, 2007).

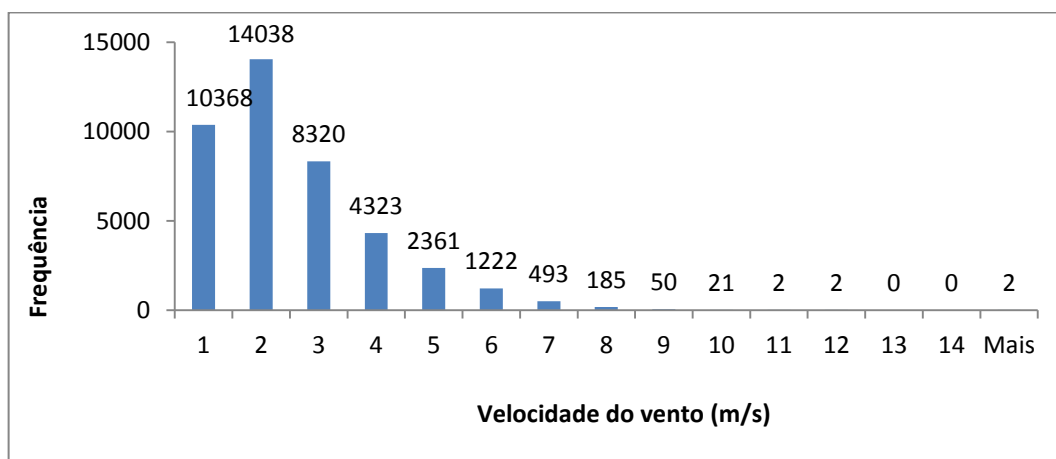


Figura 31. Histograma de Frequência de Guaíra a 10 metros

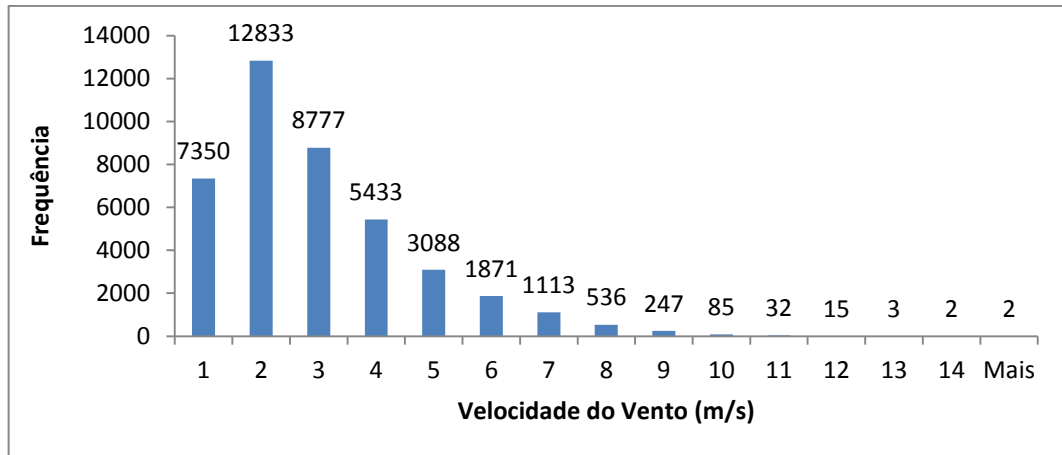


Figura 32. Histograma de Frequência de Guáira a 25 metros

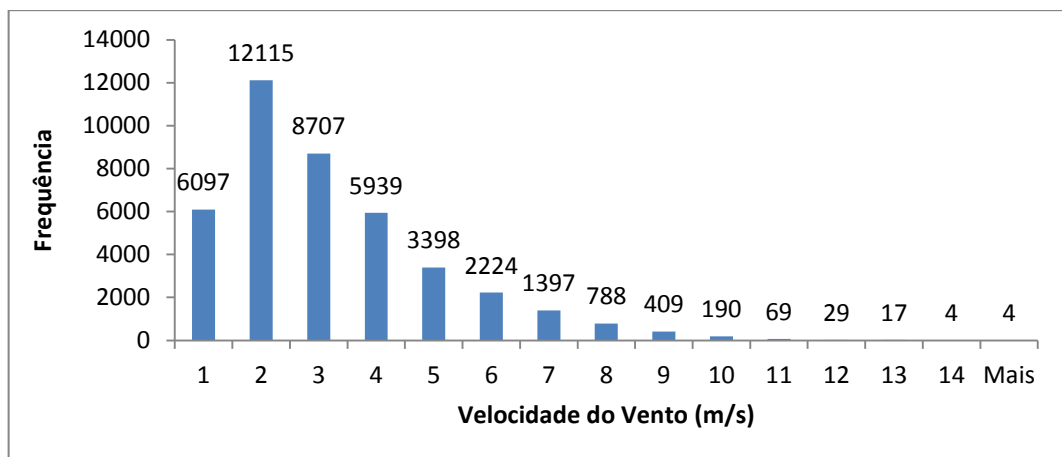


Figura 33. Histograma de Frequência de Guáira a 40 metros

A Tabela 15 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 15. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Guáira

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,46	1,46	1,46
Fator de Escala (C)	2,33	2,80	3,07

Segundo a classificação de Alé e Pereira (2002), o fator de forma de Guáira apresenta um fluxo ligeiramente turbulento, típico de ventos de vale e montanha. Este mesmo fluxo também foi característico de Foz do Iguaçu e Palotina. Prado (2009), também alcançou o valor de k igual a 1,46 para a cidade de Tandil na Argentina e embora sua velocidade média

tenha sido de 3,62 m/s à altura de 10 metros, este foi o seu segundo pior cenário nos resultados referentes a densidade de potencial eólico, uma vez que o regime de ventos sintetizado pelo fator de forma descreve uma localidade com pouca uniformidade acerca da média de velocidade. Para Manwell et. al. (2002), ao fator de k igual a 1,6 foi atribuído a maior incidência de ventos na faixa 2,5 m/s.

O fator de forma de Guaíra apresenta grande assimetria à direita indicando incidência de ventos menores que 5 m/s em todas as alturas, sendo que a maior ocorrência de ventos são da faixa de 2,5m/s, representado nas Figuras 34, 35 e 36:

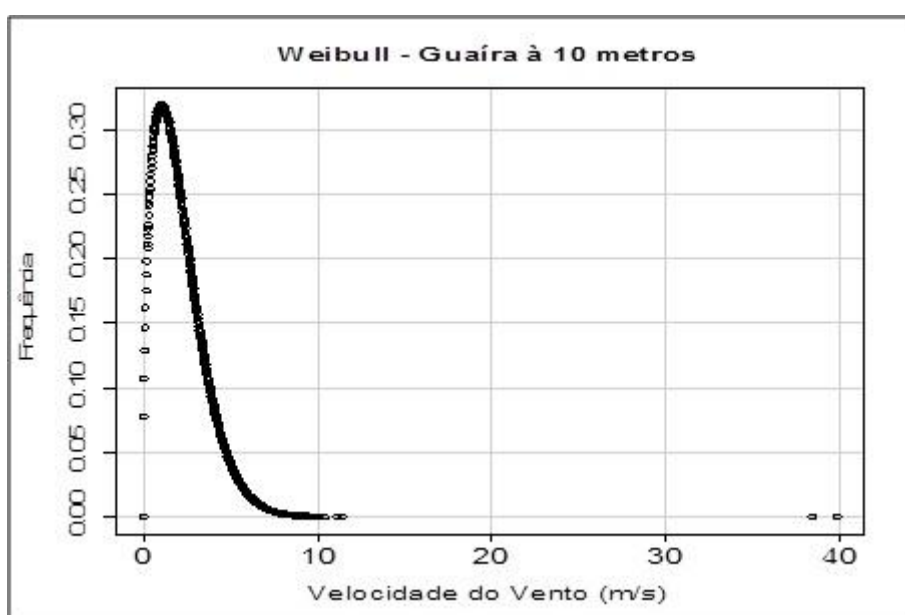


Figura 34. Distribuição de Weibull de Guaíra a 10 metros

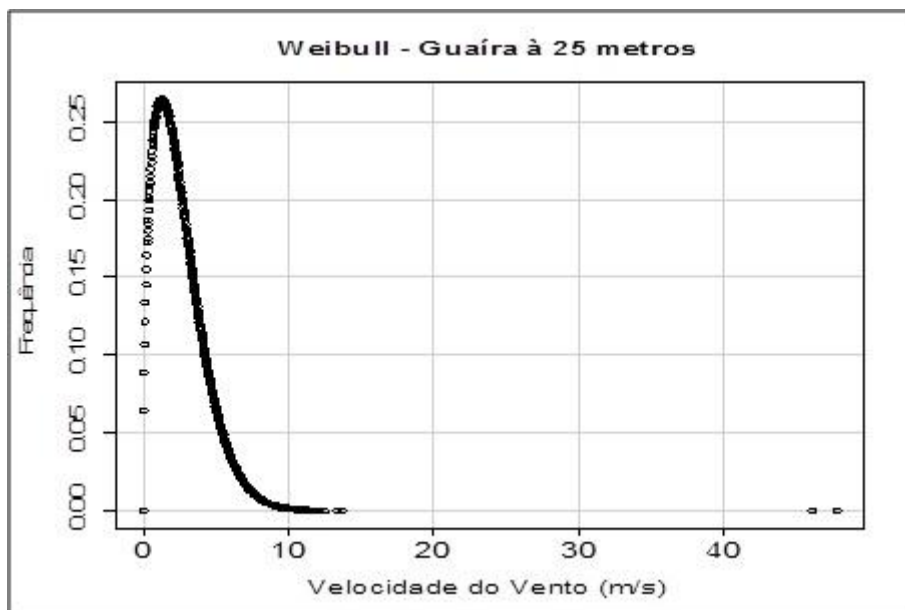


Figura 35. Distribuição de Weibull de Guaira a 25 metros

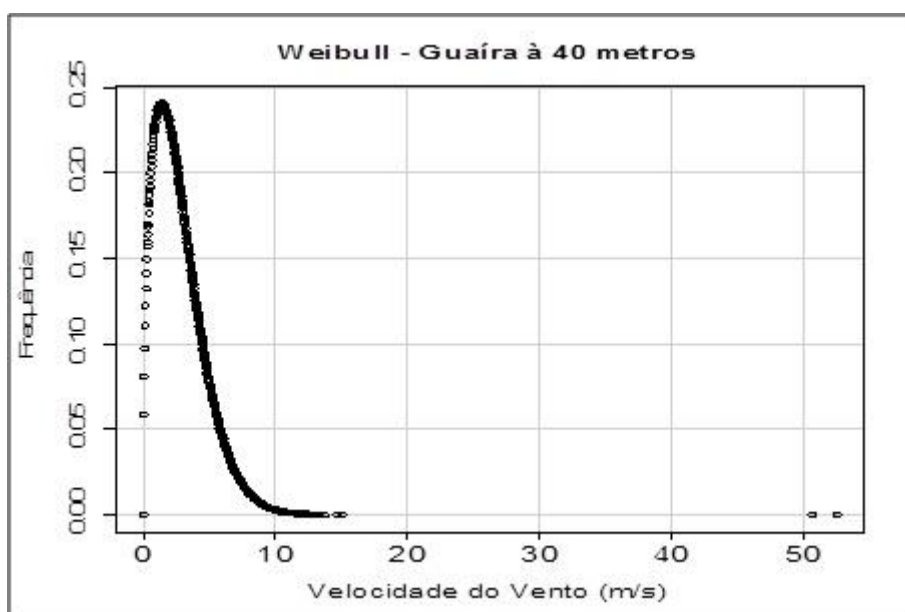


Figura 36. Distribuição de Weibull de Guaira a 40 metros

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Guaira em sua maioria são do tipo calmarias e brisas. O potencial eólico do município foi de 9,70 W/m², 16,81 W/m², e 22,88 W/m² para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, considerando a Lei de Betz caracterizando um baixo potencial em regime de microgeração.

4.1.5. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Palotina

Para Palotina a estação do ano com maior velocidade do vento foi a primavera, seguida do inverno, tais resultados são comuns ao Atlas do Potencial Eólico do Paraná no qual a média de ventos são mais intensas no inverno e posteriormente na primavera (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 16 mostra a velocidade média dos ventos de Palotina para as três alturas extrapoladas e em todos os casos os resultados foram inferiores a 2,5 m/s, apresentando um coeficiente de variação de 80% sendo o pior todas as localidades pesquisadas. E assim como Foz do Iguaçu e Guaíra as médias estão abaixo do esperado para a conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica.

Tabela 16. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Palotina

	10 metros	25 metros	40metros
Média	1,86	2,23	2,46
Desvio Padrão	1,50	1,80	1,98
Máximo	11,98	14,38	15,80
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Coeficiente de Variação (%)	80,65	80,72	80,49

Os histogramas de frequência mostram que a maior ocorrência de ventos para todas as alturas extrapoladas foi de 1,0 a 2,9 m/s, conforme as Figuras 37, 38 e 39. De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, os ventos de Palotina são de 3,5 m/s a 50 metros de altitude (AMARANTE et.al, 2001), e para o Atlas do Potencial Eólico do Paraná à 50 metros o valor encontrado foi de 4 m/s, em ambos os atlas o município faz parte do conjunto de localidades com os valores mais baixos de velocidade do vento e conseqüentemente dos piores potenciais eólicos (SCHULTZ, 2007).

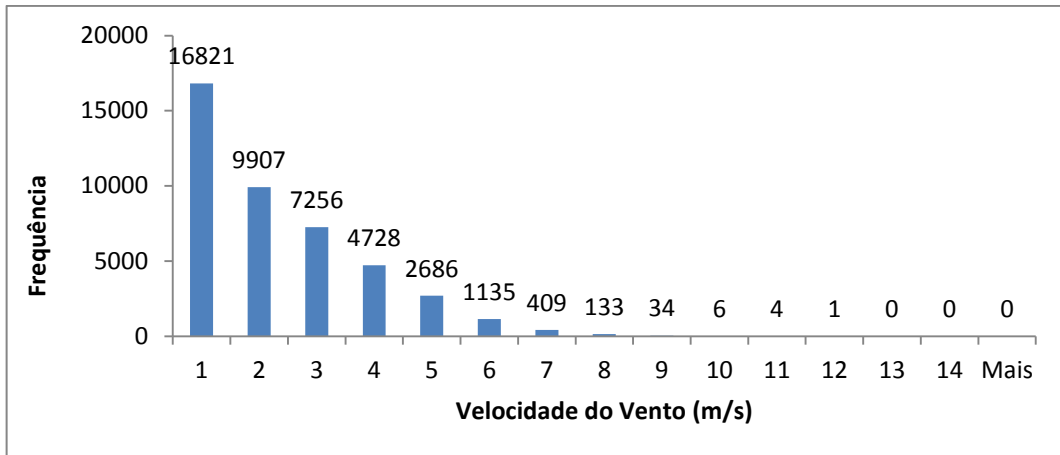


Figura 37. Histograma de Frequência de Palotina a 10 metros

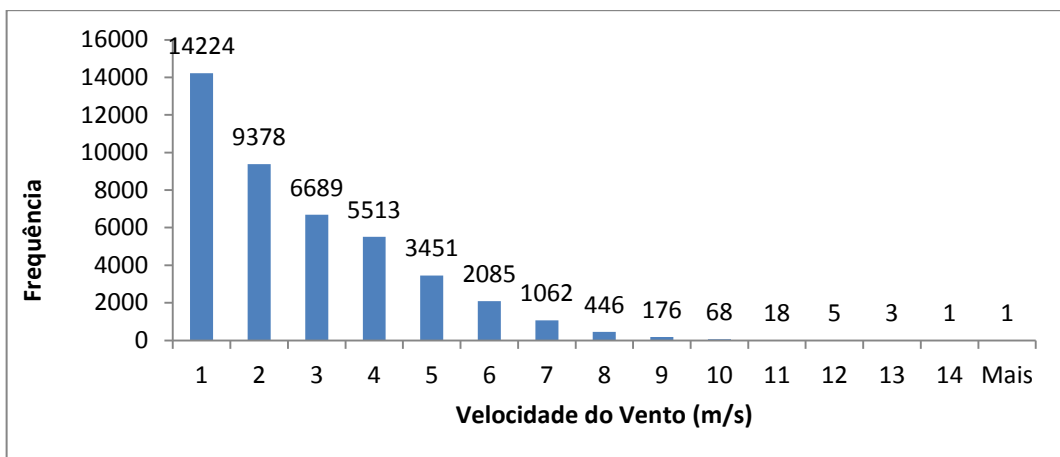


Figura 38. Histograma de Frequência de Palotina a 25 metros

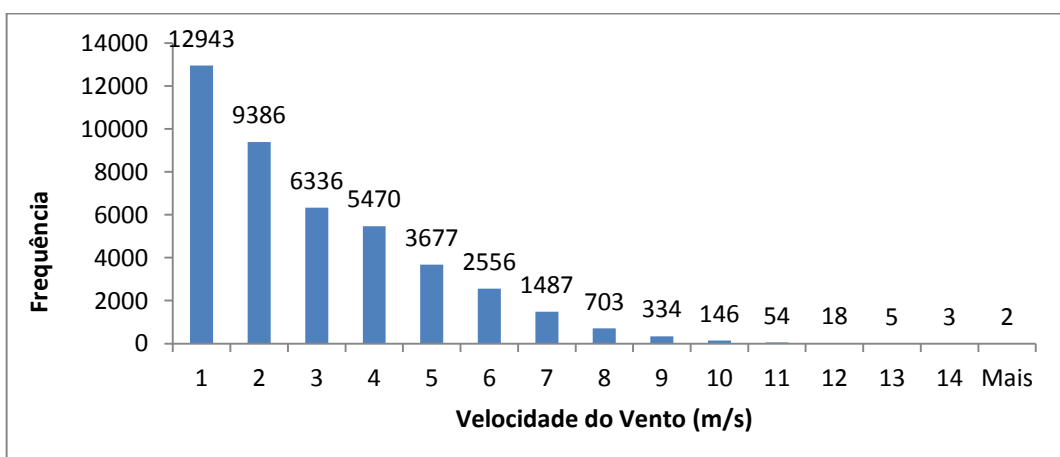


Figura 39. Histograma de Frequência de Palotina a 40 metros

A Tabela 17 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 17. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Palotina

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,26	1,26	1,26
Fator de Escala (C)	2,52	2,52	2,77

Alé e Pereira (2002) classificam o fator de k de Palotina como um fluxo ligeiramente turbulento com ventos típicos de vale e montanha, esta mesma classificação foi vista para Foz do Iguaçu e Guaíra. Miguel (2004), encontrou um fator de forma igual a 1,0 para o município de Monteiro Lobato –SP e o mesmo foi considerado com um potencial eólico desprezível. Já para Manwell et. al. (2002) o valor de k igual a 1,2 representou maior incidência de ventos entre 1 a 2 m/s.

O fator de forma de Palotina foi o menor apresentado neste estudo, revelando grande assimetria à direita indicando incidência de ventos menores que 2 m/s para as alturas de 10 e 25 metros, conforme as Figuras 40 e 41. E para a altura de 40 metros houve um pequeno acréscimo na velocidade dos ventos indicando que a maior frequência de ventos ocorreu entre as velocidade de 2,0 a 2,5 m/s, conforme Figura 42.

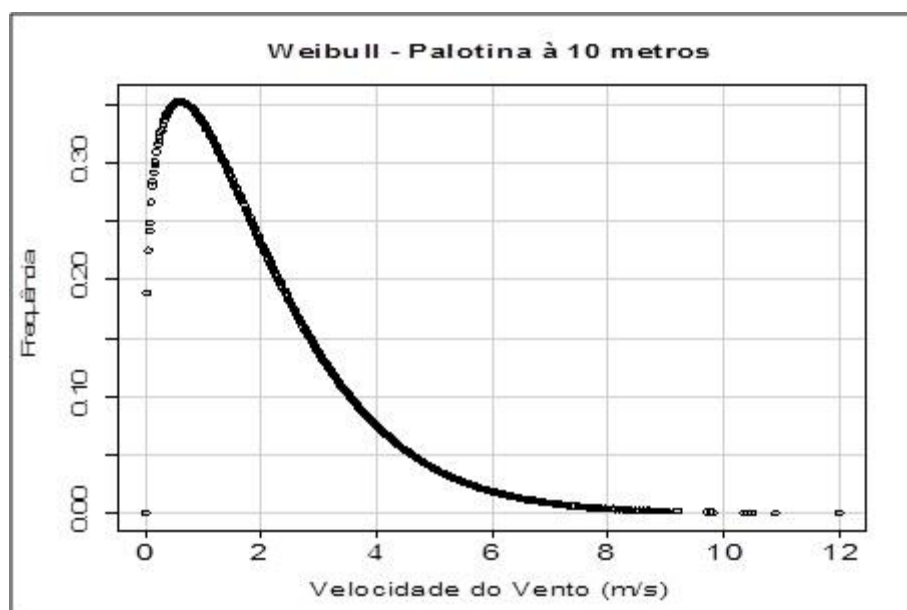


Figura 40. Distribuição de Weibull de Palotina a 10 metros

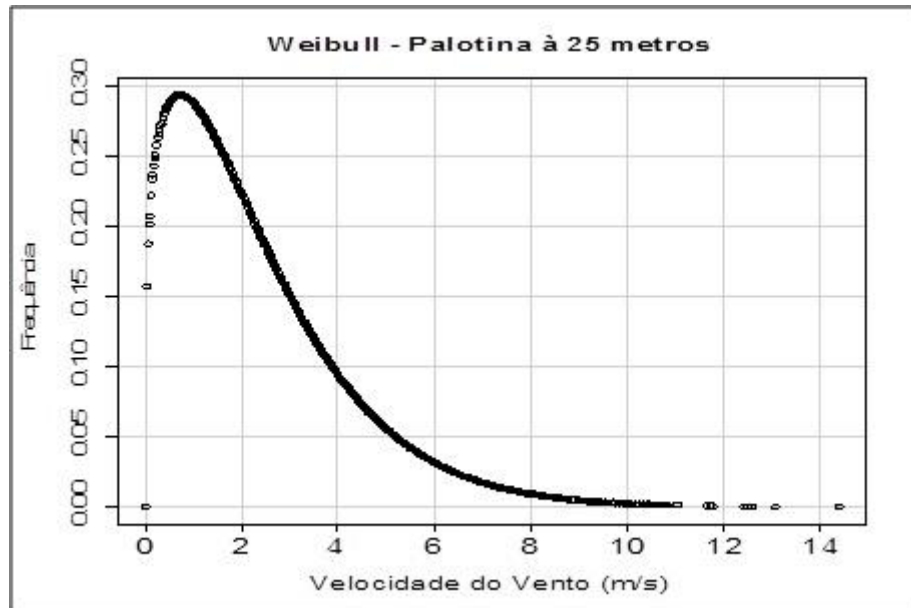


Figura 41. Distribuição de Weibull de Palotina a 25 metros

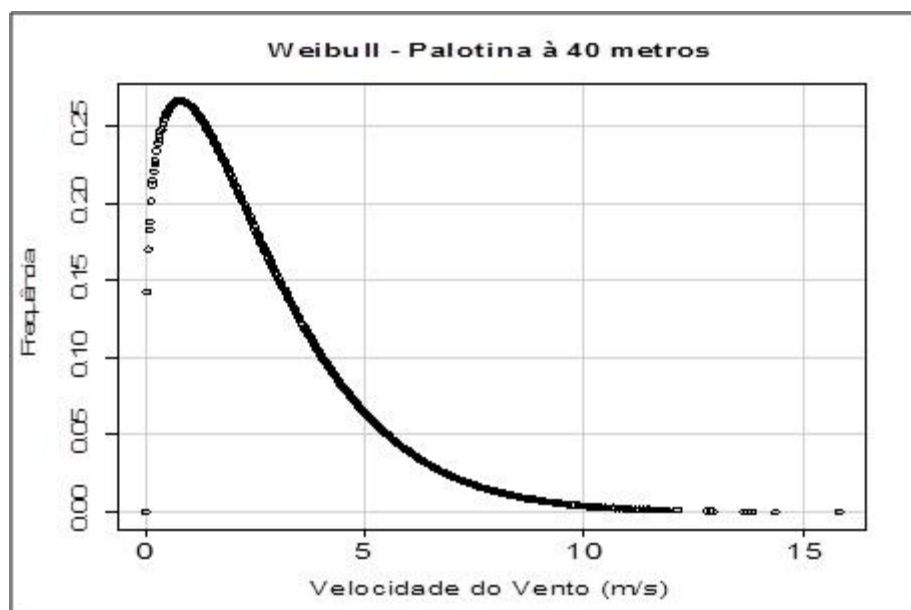


Figura 42. Distribuição de Weibull de Palotina a 40 metros

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Palotina em sua maioria, são do tipo calmaria e brisas. O potencial eólico do município foi de 7,78 W/m², 13,48 W/m², e 17,88 W/m², para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, considerando a Lei de Betz caracterizando um baixo potencial.

Campos et. al.(2012), realizou uma breve estimativa para o município em questão e chegou a um potencial eólico de 25,7 W/m² a altura de 100 metros, tal valor pode ser

considerado razoável para o bombeamento de água por meio de um cata-vento, mas quando comparado com potencial eólico de Cascavel aos 10 metros, cujo valor é de 36,56 W/m², nota-se que o potencial eólico de Palotina é extremamente baixo e que a extrapolação a 100 metros mascara a realidade acerca do potencial eólico.

4.1.6. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Santa Helena

Santa Helena apresentou as maiores velocidades médias de vento durante o inverno, seguido da estação da primavera, idênticos ao potencial sazonal obtido no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 18 mostra a velocidade média dos ventos de Santa Helena que ficaram entre 2,5 a 3,5 m/s, apresentando um coeficiente de variação de 56% considerado normal para séries históricas de vento.

Tabela 18. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Santa Helena

	10 metros	25 metros	40metros
Média	2,59	3,11	3,42
Desvio Padrão	1,42	1,71	1,88
Máximo	16	19,21	21,11
Mínimo	0	0	0
Coeficiente de Variação (%)	54,83	54,98	54,97

Os histogramas de frequência sinalizam que a maior ocorrência de ventos aos 10 metros foi entre 2,0 a 3,9 m/s, conforme a Figura 43. Já para as alturas de 25 e 40 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 3,0 a 4,9 m/s, de acordo com as Figuras 44 e 45. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro indica que a velocidade de Santa Helena a 50 metros foi de 5,0 m/s (AMARANTE, et.al, 2001), assim como o verificado no Atlas do Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

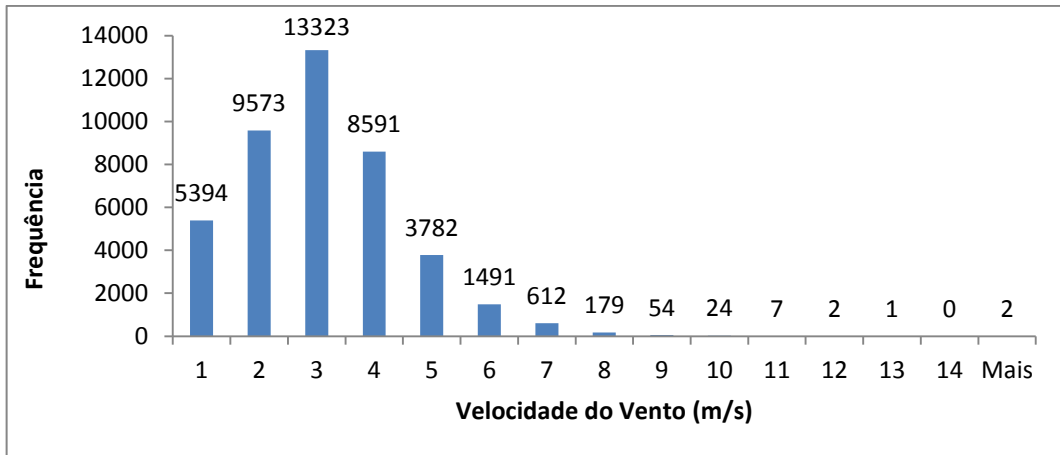


Figura 43. Histograma de Frequência de Santa Helena a 10 metros

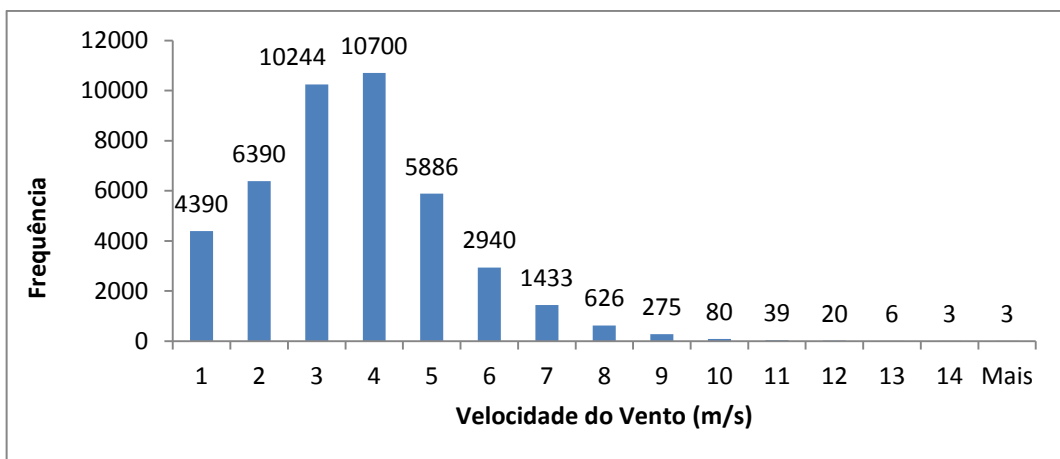


Figura 44. Histograma de Frequência de Santa Helena a 25 metros

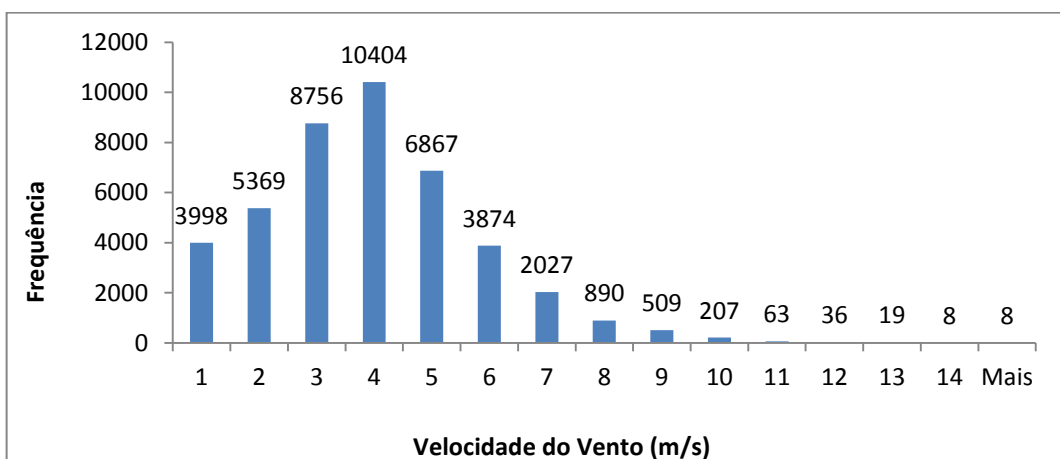


Figura 45. Histograma de Frequência de Santa Helena a 40 metros

A Tabela 19 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 19. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de Santa Helena

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,91	1,91	1,91
Fator de Escala (C)	2,93	3,51	3,86

Na classificação de Alé e Pereira (2002), o fator de k de Santa Helena é do tipo fluxo pouco turbulento assim como o encontrado em Assis Chateaubriand, São Miguel do Iguçu e Toledo. Lopes (2011) também encontrou valor de k de 1,9 para o mês de abril que caracterizou grande ocorrência de ventos na faixa de 2 a 3 m/s. Para o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro o fator de forma de Santa Helena foi igual a 2.

A curva da distribuição de Weibull de Santa Helena apresenta assimetria mais à direita que indica a incidência de ventos em torno de 2,5 m/s para 10 metros e de 2,5 a 3,0 m/s para 25 e 30 metros, representado nas Figuras 46, 47 e 48 respectivamente.

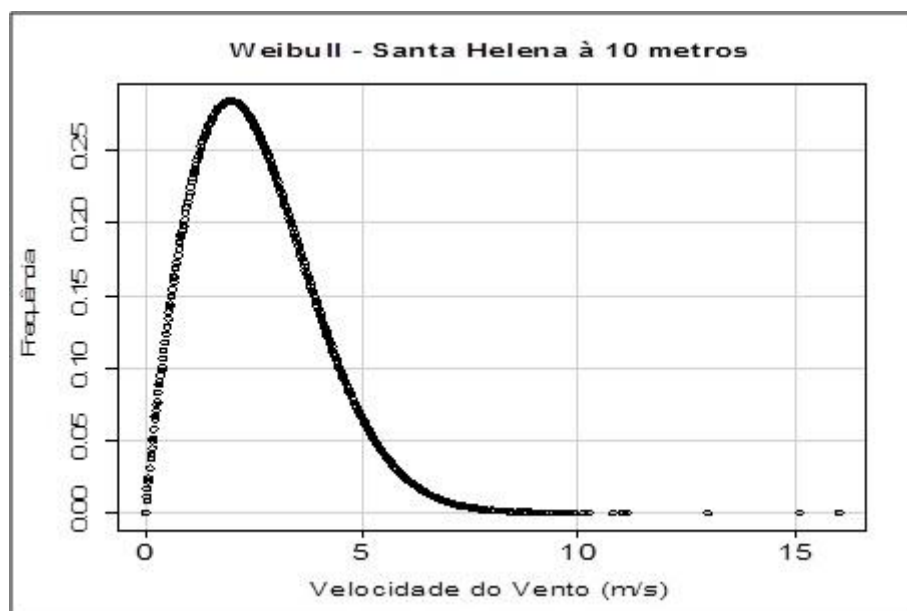


Figura 46. Distribuição de Weibull a 10 metros para Santa Helena

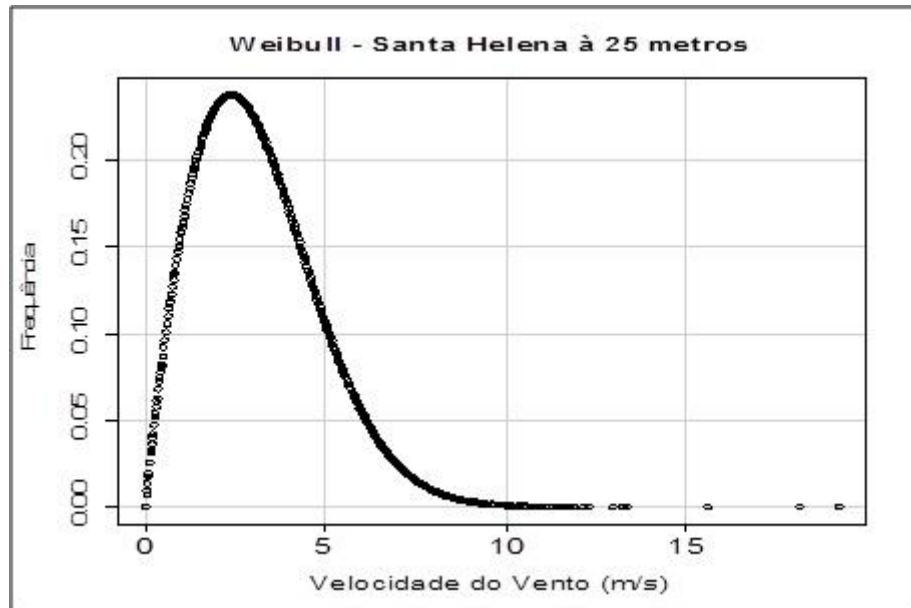


Figura 47. Distribuição de Weibull a 25 metros para Santa Helena

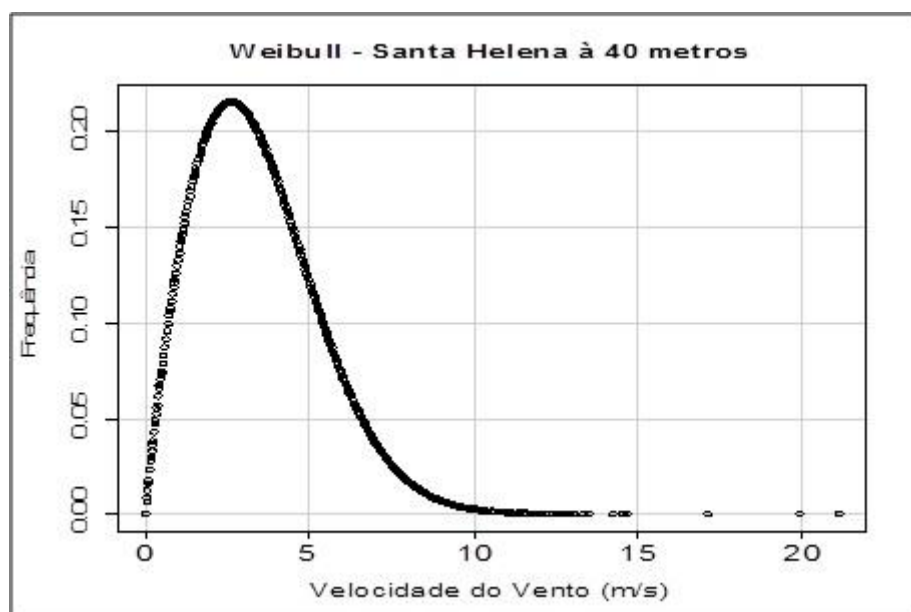


Figura 48. Distribuição de Weibull a 40 metros para Santa Helena

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Santa Helena em sua maioria são do tipo brisas. O potencial eólico do município foi de 12,04 W/m², 20,86 W/m², e 27,66 W/m², para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente considerando a Lei de Betz, caracterizando um baixo potencial. Prado (2009), com uma média de ventos de 3,66 m/s a 10 metros, valor aproximado da média de 3,42 m/s de Santa Helena aos 40 metros obteve

um potencial eólico de 67,98 W/m², evidenciando o baixo potencial de Santa Helena para regime de microgeração.

4.1.7. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de São Miguel do Iguaçu

São Miguel do Iguaçu apresentou as maiores médias velocidades de vento durante o inverno, seguido da estação da primavera, idênticos ao potencial sazonal obtido no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 20 mostra a velocidade média dos ventos de São Miguel do Iguaçu as quais estão acima de 2,75 m/s e o um coeficiente de variação esta em torno de 57%. Com uma média geral de ventos de 3,84 m/s, Lopes (2011) chegou a um potencial eólico satisfatório para o bombeamento de água no nordeste brasileiro.

Tabela 20. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de São Miguel do Iguaçu

	10 metros	25 metros	40 metros
Média	2,76	3,32	3,64
Desvio Padrão	1,57	1,89	2,08
Máximo	12,35	14,83	16,29
Mínimo	0	0,03	0,03
Coeficiente de Variação (%)	56,88	56,93	57,14

A faixa de frequência de maior ocorrência a 10 metros foi entre 2,0 a 3,9m/s, conforme a Figura 49. Já para as alturas de 25 e 40 metros a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 3,0 a 4,9m/s, de acordo com as Figuras 50 e 51, respectivamente. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro indica que a velocidade de São Miguel do Iguaçu a 50 metros foi de 4,0 m/s (AMARANTE, et.al, 2001), assim como o verificado no Atlas do Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

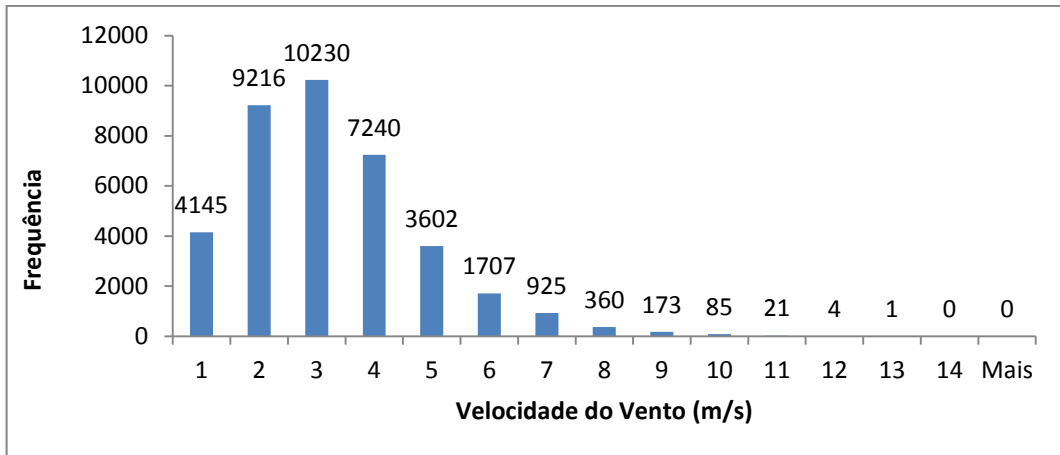


Figura 49. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguazu a 10 metros

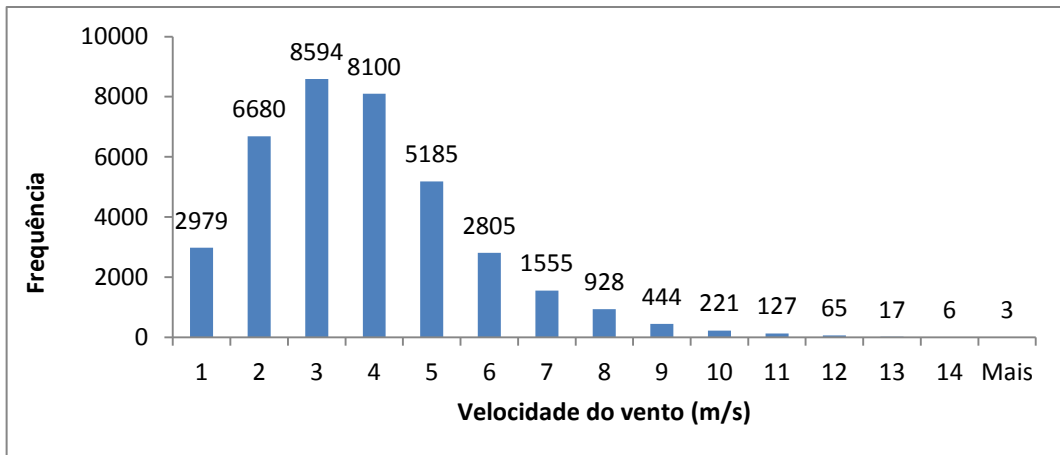


Figura 50. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguazu a 25 metros

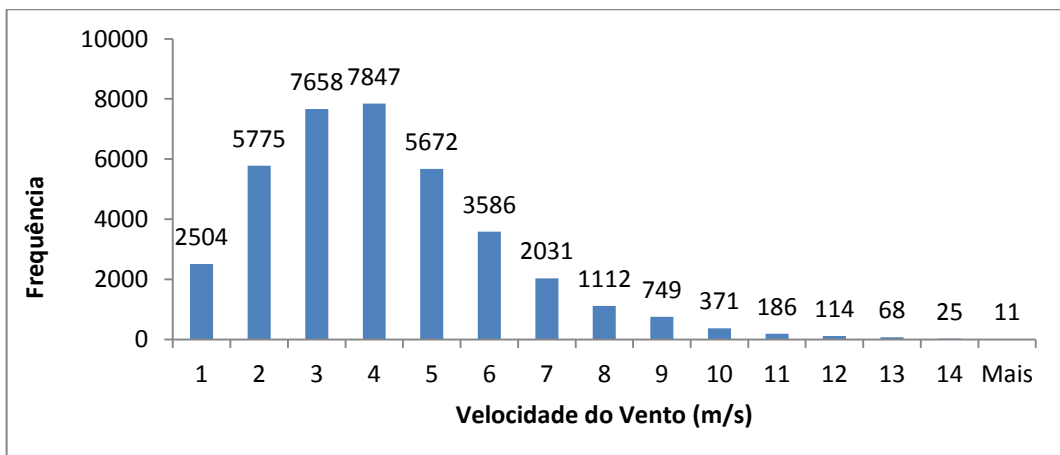


Figura 51. Histograma de Frequência de São Miguel do Iguazu a 40 metros

A Tabela 21 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 21. Parâmetros de C e k para as diferentes alturas de São Miguel do Iguçu.

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,84	1,84	1,84
Fator de Escala (C)	3,12	3,75	4,12

Conforme Alé e Pereira (2002) o fator de k entre 1,6 a 2 caracteriza um fluxo de ventos pouco turbulento, assim como o fluxo de Assis Chateaubriand, Santa Helena e Toledo, os quais a curva da distribuição de Weibull também apresentaram assimetria mais à direita indicando a predominância de ventos entre 2 a 3 m/s em todas as alturas, representado nas Figuras 52, 53 e 54 abaixo:

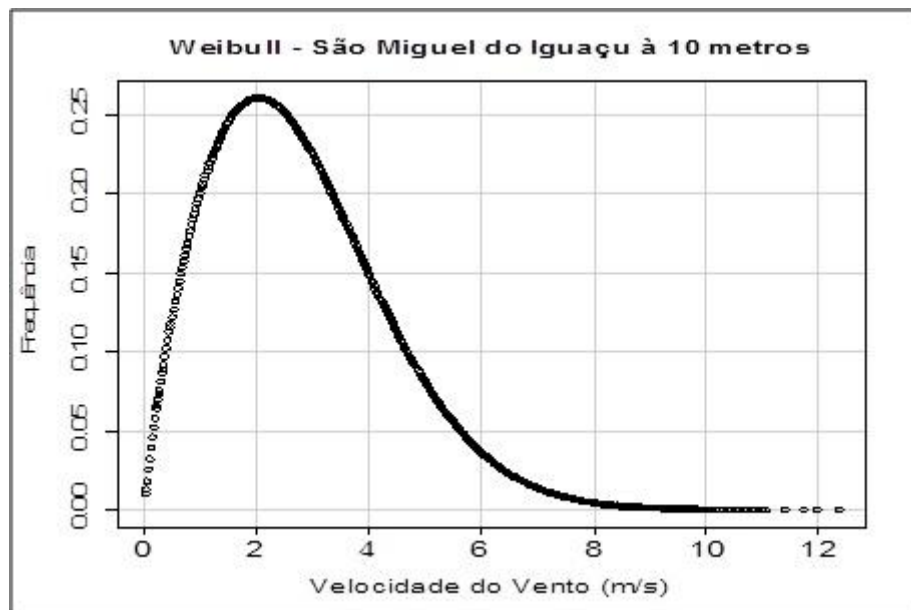


Figura 52. Distribuição de Weibull a 10 metros para São Miguel do Iguçu

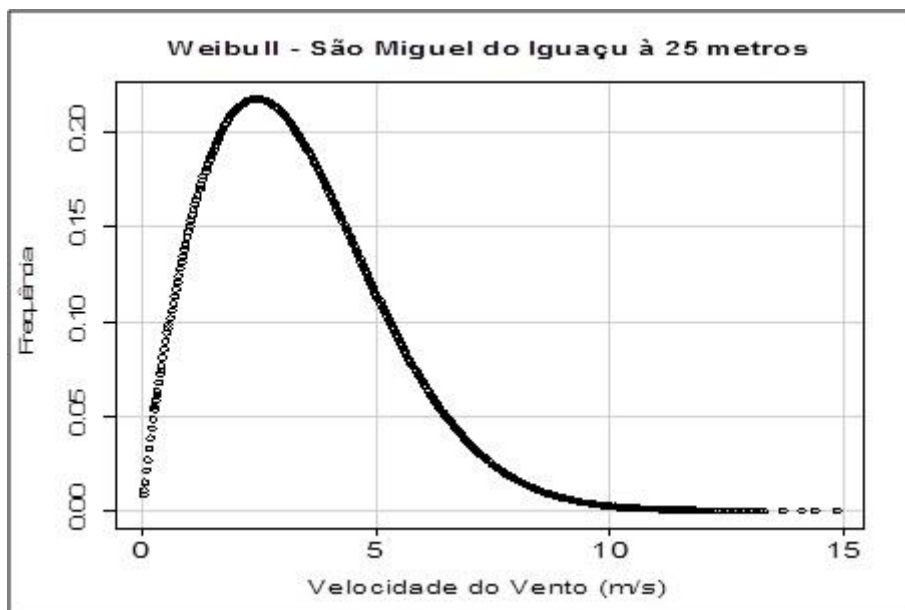


Figura 53. Distribuição de Weibull a 25 metros para São Miguel do Iguaçu

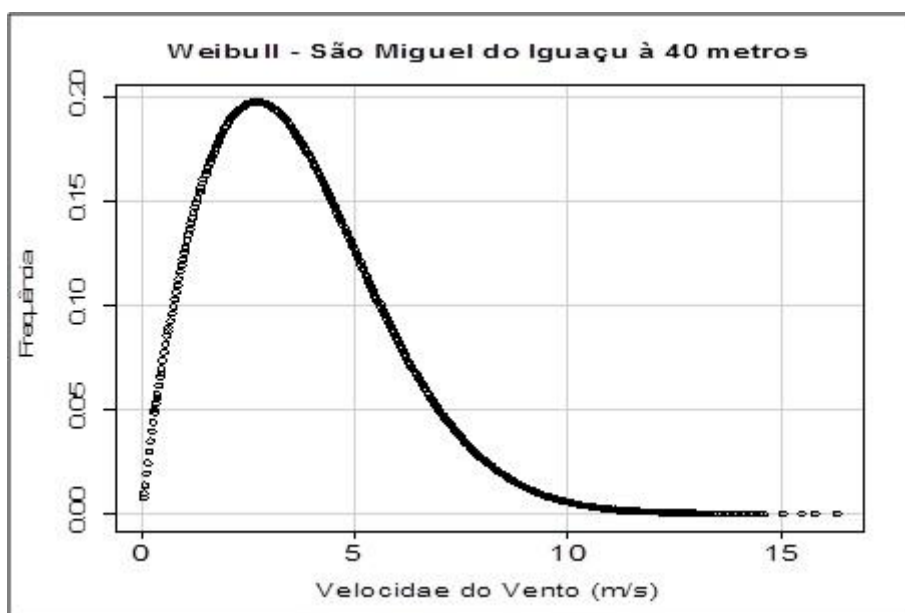


Figura 54. Distribuição de Weibull a 40 metros para São Miguel do Iguaçu

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de São Miguel do Iguaçu em sua maioria são do tipo brisas. O potencial eólico do município foi de 15,72 W/m², 27,25 W/m², e 36,13 W/m² para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, considerando a Lei de Betz. Nota-se que o fator de forma de Santa Helena e São Miguel do Iguaçu são próximos, 1,91 e 1,84 respectivamente, porém a ligeira médias de ventos maior de São Miguel do Iguaçu elevou seus valores de potencial eólico com relação a Santa Helena, mas ainda trata-se de baixo potencial eólico.

4.1.8. Velocidade do Vento e Potencial Eólico de Toledo

Toledo apresentou as maiores médias de velocidade de vento durante o inverno, seguido da estação da primavera, idênticos ao potencial sazonal obtido no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (SCHULTZ, et. al., 2007).

A Tabela 22 mostra a velocidade média dos ventos de Toledo, apresentado uma média razoável para a transformação do recurso eólico em energia a partir dos 25 metros. O coeficiente de variação de 62% é considerado normal para séries históricas de vento. Sobral (2009) encontrou um coeficiente de variação de 60% no mês de junho em Poço Redondo-SE e o mesmo resultou em um potencial eólico tido como satisfatório.

Tabela 22. Estatística Descritiva de Velocidade do Vento de Toledo

	10 metros	25 metros	40metros
Média	2,40	2,88	3,16
Desvio Padrão	1,50	1,81	1,98
Máximo	13,5	16,21	17,81
Mínimo	0	0	0
Coeficiente de Variação (%)	62,50	62,85	62,66

A faixa de frequência de maior ocorrência para as três alturas extrapoladas foi entre 2,0 a 3,9m/s, conforme as Figuras 55, 56 e 57. Porém a frequência de ventos na faixa de 3 a 3,9 m/s aumentam consideravelmente aos 40 metros. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro indica que a velocidade de Toledo a 50 metros foi de 3,5 m/s (AMARANTE, et.al, 2001). Já para o Atlas do Atlas do Potencial Eólico do Paraná os valores a 50 metros são de 4,0 m/s (SCHULTZ, et. al., 2007).

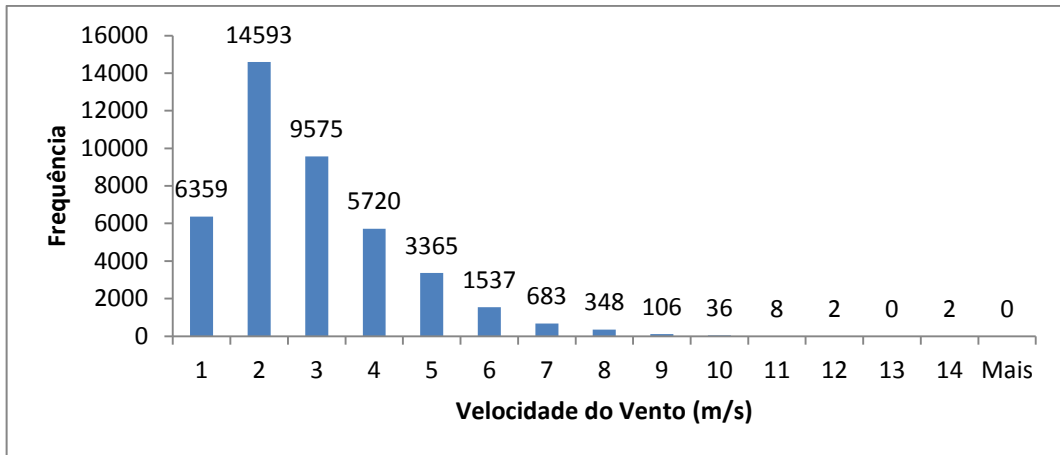


Figura 55. Histograma de Frequência de Toledo a 10 metros

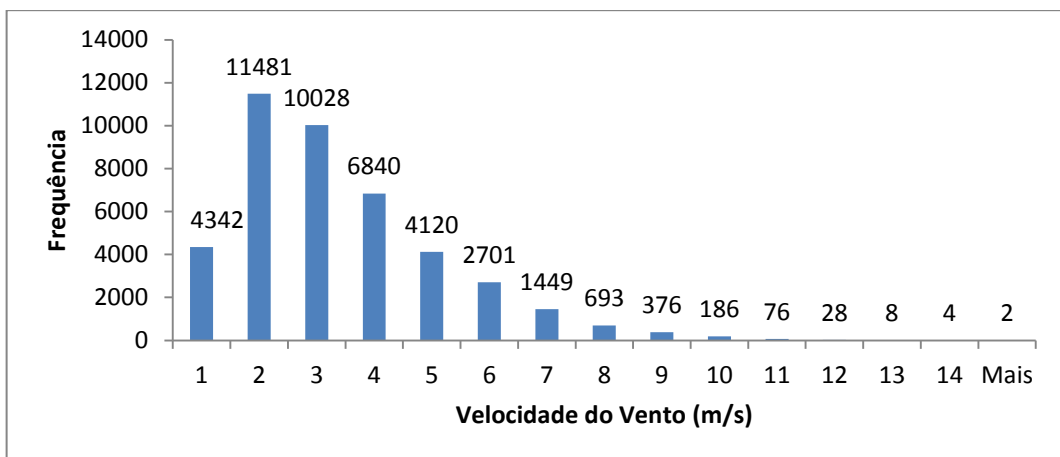


Figura 56. Histograma de Frequência de Toledo a 25 metros

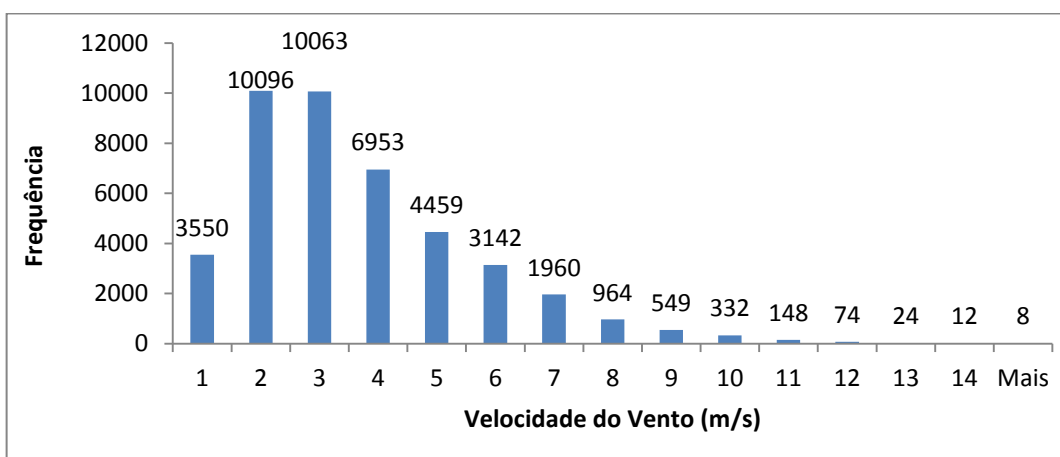


Figura 57. Histograma de Frequência de Toledo a 40 metros

. A Tabela 23 apresenta os valores dos parâmetros de C (escala) e k (forma) da distribuição de Weibull para as três alturas em questão:

Tabela 23. Histograma de Frequência de Toledo a 40 metros

	10 metros	25 metros	40 metros
Fator de Forma (k)	1,66	1,66	1,66
Fator de Escala (C)	2,71	3,26	3,58

O fator de forma de Toledo é do tipo pouco turbulento assim como o de Assis Chateaubriand, Santa Helena e São Miguel do Iguçu (ALÉ e PEREIRA, 2002). Leite e Filho (2006), ao analisarem a velocidade mensal dos ventos de Ponta Grossa-PR em um período de 25 anos, encontraram a maior variância no mês de novembro condizendo com o menor fator de forma, neste caso o valor de k foi de 1,63. A curva da distribuição de Weibull de Toledo, tem uma assimetria mais à direita indicando a predominância de ventos de 2 a 3 m/s para todas as alturas, representado nas Figuras 58, 59 e 60.

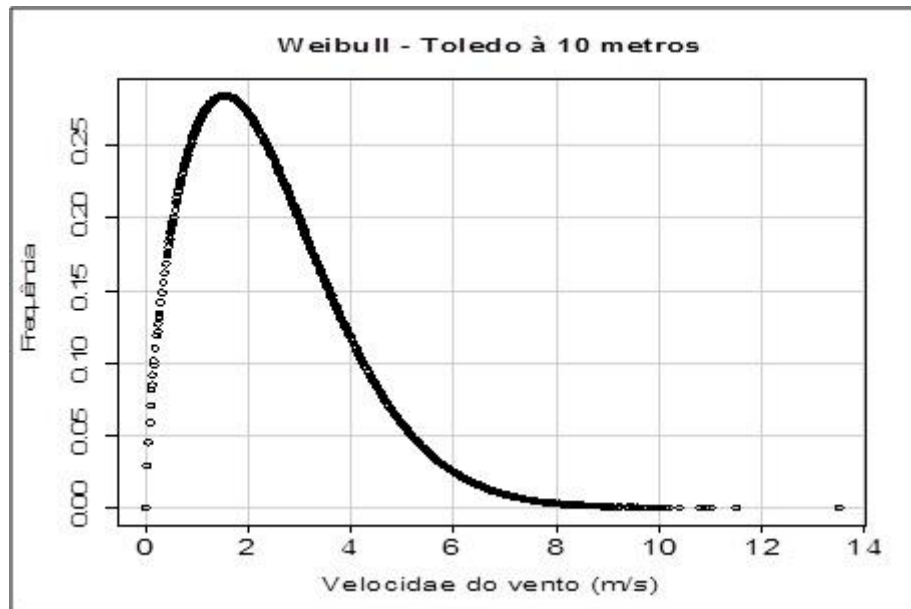


Figura 58. Distribuição de Weibull a 10 metros para Toledo

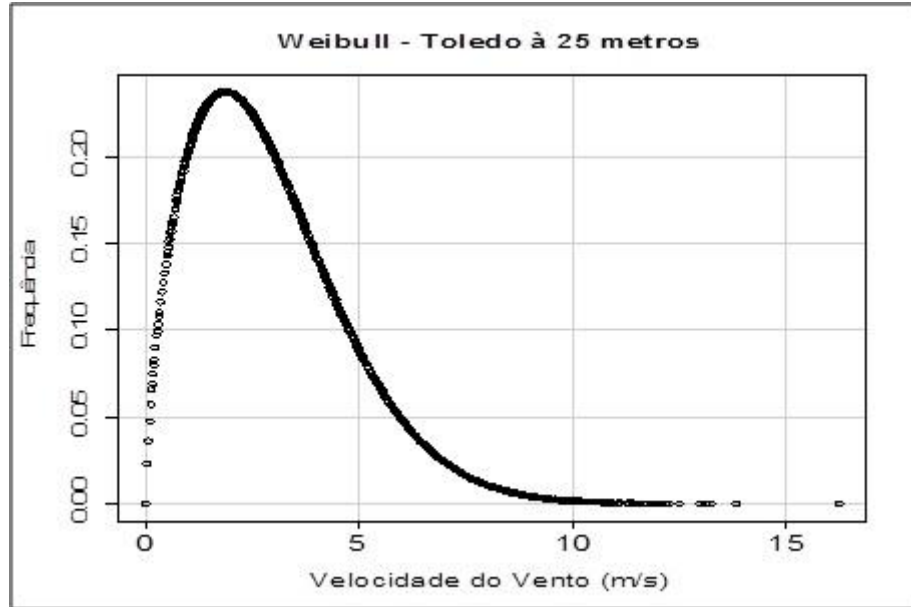


Figura 59. Distribuição de Weibull a 25 metros para Toledo

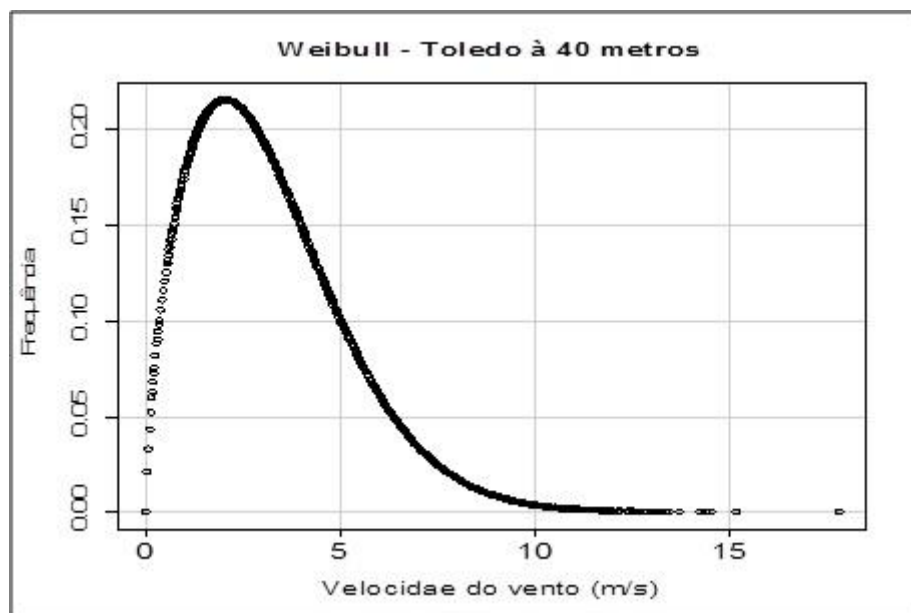


Figura 60. Distribuição de Weibull a 40 metros para Toledo

Conforme a classificação de Fernández Díez (2003), os ventos de Toledo em sua maioria são do tipo brisas. O potencial eólico do município foi de 11,50 W/m², 19,94 W/m², e 26,46 W/m², para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, considerando a Lei de Betz. Valores parecidos foram encontrados em Santa Helena com potenciais de 12,04 W/m², 20,86 W/m², e 27,66 W/m² para as alturas consideradas, caracterizando Toledo com um baixo potencial eólico.

4.2. Resultado da Simulação de Energia Anual Gerada e Requerida

A simulação da demanda de eletricidade foi realizada por meio do software livre Eolusoft- desenvolvido pela PUC-RS, foram realizadas duas simulações. O primeiro cenário considera a energia requerida para o funcionamento de itens básicos de uma residência, como lâmpadas, chuveiro e outros eletrodomésticos. E o segundo cenário considerou apenas a energia requerida para o funcionamento de uma bomba d'água, cujo recurso hídrico tem fins domésticos como lavar roupa, louça, banho, regar horta dentre outras funções.

O primeiro cenário ensejou o consumo diário de uma família de quatro pessoas, pois de acordo com as estimativas do IBGE as famílias da região sul são compostas por 3,2 indivíduos. Ainda de acordo com o IBGE (2009), tendo por base a pesquisa nacional por amostra de domicílios pode-se estipular a duração de uso dos aparelhos elétricos selecionados para simulação, a Tabela 24 mostra o consumo e a energia anual requerida por tais aparelhos.

Tabela 24. Itens elétricos e energia anual requerida

Item elétrico utilizado	Quantidade	Horas por dia	Total semanal	Consumo diário
Chuveiro (5200 W)	1	8 min/pessoa	224 horas	2586,83 Wh
Lâmpada (20 W)	5	5 horas	175 horas	466,67 Wh
Televisão (29 polegadas)	1	3 horas	21 horas	308,00 Wh
Geladeira (240 litros)	1	24 horas	168 horas	7392,00 Wh
			Total consumido	10660,16 Wh
			Total de energia requerida	3925,03 kWh

O segundo cenário de demanda elétrica considerou o funcionamento uma bomba de água com potência nominal de 500W e capacidade de vazão de 2340 litros por hora, que sendo utilizada todos os dias durante uma hora totalizou um consumo anual de 466,67 Wh, necessitando em termos de energia 170,33 kWh. A bomba de 500 W é capaz de atender as necessidades domésticas de uma família de quatro pessoas, haja vista que o consumo per capita de água para a mesorregião oeste do Paraná é de 319 litros diários por habitante, totalizando um dispêndio de 1276 litros diários (IBGE, 2000).

A fim de obter a energia anual gerada pelo sistema eólico em função do regime de ventos foram testados dois modelos de turbinas de pequeno porte, o AIR 403 e o LMW 600.

A Tabela 25 traz os resultados da energia anual gerada para as três alturas extrapoladas em função dos dois modelos de aerogerador, nota-se que no caso de Guaíra, Palotina, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo aos 10 metros e Foz do Iguaçu nas três alturas, a energia anual gerada foi maior para o aerogerador AIR 403 mesmo em face de sua menor potência nominal, em detrimento ao LMW 600. Este resultado foi atribuído as baixas velocidades do vento nestes municípios que em sua maioria não atingiram os 3,5 m/s de velocidade inicial de funcionamento da turbina LMW 600.

Tabela 25. Energia Anual Gerada em kWh

		10 metros	25 metros	40 metros
Assis Chateubriand	AIR 403(400 W)	210,91	310,91	380,85
	LWM (600 W)	243,34	470,98	624,37
Cascavel	AIR 403(400 W)	362,53	485,98	604,05
	LWM (600 W)	495,32	869,07	1113,98
Foz do Iguaçu	AIR 403(400 W)	47,16	76,44	96,09
	LWM (600 W)	11,59	43,91	73,10
Guaíra	AIR 403(400 W)	96,63	146,55	179,72
	LWM (600 W)	71,34	160,80	226,25
Palotina	AIR 403(400 W)	89,39	136,02	168,00
	LWM (600 W)	79,85	162,25	223,02
Santa Helena	AIR 403(400 W)	134,81	196,10	238,97
	LWM (600 W)	92,30	220,74	319,08
São Miguel do Iguaçu	AIR 403(400 W)	155,21	228,14	279,18
	LWM (600 W)	140,47	300,63	415,29
Toledo	AIR 403(400 W)	118,25	176,55	216,18
	LWM (600 W)	91,80	207,21	291,61

4.2.1 Resultado energia anual gerada e consumida pela residência

A energia anual gerada de Assis Chateubriand com relação a demanda residencial, supre apenas 5,37%, 7,92% e 9,70% para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, em função do modelo AIR 403. Para o aerogerador dinamarquês a energia gerada foi capaz de

suprir em 6,19%, 11,99% e 15,90% para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente, demonstrando que a turbina de 600W de potência nominal é mais vantajosa.

O município de Cascavel obteve o resultado mais expressivo para a demanda residencial dentre todos os analisados suprimindo 8,31%, 12,38% e 15,38% para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente com o Air 403, resultados semelhantes aos de Assis Chateaubriand com o aerogerador mais potente. Já com a turbina LMW 600, Cascavel demonstrou boa capacidade de geração de energia anual, tornando o seu uso mais indicado, suprimindo 12,61%, 22,14% e 28,38% para as alturas de 10, 25 e 40 metros respectivamente. De todos os casos considerados, apenas este apresentou valores acima de 20 %.

Em Foz do Iguaçu foram encontrados os piores resultados, onde a energia gerada para todas as alturas e ainda para os dois modelos de aerogerador não garantiram sequer 2,5 % da demanda residencial, caracterizando um baixíssimo rendimento na microgeração eólica, considerando o resultado irrisório. O baixo rendimento também se verifica nos casos de Guaíra no qual o melhor cenário foi capaz de garantir apenas 5,76% da demanda residencial assim como em Palotina cujo melhor cenário atende apenas 5,68%. Todos os resultados expressos em porcentagem no abastecimento de energia elétrica estão listados no apêndice ao final do trabalho.

Os resultados mais otimistas para Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo ocorrem à 40 metros com o modelo LMW 600W, que correspondem respectivamente a 8,12%, 10,58% e 7,42% do abastecimento do consumo residencial.

4.2.2. Resultado da energia anual gerada e consumida pela bomba de água

Embora os municípios não tenham apresentado resultados promissores para atender a demanda residencial, a maioria deles mostrou-se eficaz no atendimento elétrico da bomba eólica uma vez que o recurso eólico precisa suprir apenas a energia anual de 170, 33 kWh.

Assis Chateaubriand mostrou-se capaz de gerar excedentes no que tange o suprimento de energia da bomba eólica, sendo que tal eficácia é tida em todas as alturas com ambas as turbinas. Aos 25 metros utilizando o LMW 600 a energia gerada é capaz de garantir até duas horas de bombeamento de água todos os dias do ano, o mesmo ocorre aos 40 metros com o Air 403, e para a altura de 40 metros com o aerogerador dinamarquês pode-se triplicar a hora de uso anualmente.

Cascavel obteve resultado semelhante a Assis, pois todas as alturas com ambas turbinas puderam alimentar a bomba eólica, gerando excedentes. Aos 25 metros com o Air 403 pode-se dobrar a hora de funcionamento anual da bomba, já aos 40 metros com a mesma turbina pode-se triplicar o uso da bomba. Com o LMW 600, aos 25 metros pode-se manter a bomba ligada por 5 horas diárias durante o ano e aos 40 metros este valor sobe para 6 horas diárias.

Ainda que o objetivo do trabalho não seja analisar a viabilidade econômica na implantação de um projeto eólico, de acordo com os resultados de Cascavel a altura de 40 metros com ambos os modelos de turbina, considera-se que seja mais vantajoso integrar o aerogerador ao consumo residencial.

Contudo, Feitosa et. al. (2014), implantou uma bomba eólica para um regime de ventos médios de 5 m/s, semelhante ao regime de ventos de Cascavel à 25 e 40 metros. O intuito deste empreendimento eólico era a irrigação por micro aspersão de culturas do Ceará, no qual a demanda energética simulada também pelo Eolusoft foi de 2251,41 kWh bem superior aos 170,33 kWh requerido pela bomba d'água do trabalho em questão.

Assim pode-se dizer que existe a possibilidade de implantação de bomba eólica em Cascavel com um fim contrário ao abastecimento de água doméstico.

No caso de Santa Helena, São Miguel do Iguçu e Toledo, às alturas de 25 e 40 metros para ambos aerogeradores, houve o suprimento da demanda energética da bomba d'água, viabilizando a utilização do recurso eólico para fins de abastecimento hídrico. Todavia, os excedentes não foram capazes de dobrar o funcionamento horário da bomba.

Sobral (2009) realizou uma simulação de energia anual gerada e consumida para um sistema eólico em Sergipe, também através do software Eolusoft, tomando por referência a mesma bomba, chegando a conclusão que ventos a partir de 2,82 m/s já viabilizam a implantação de uma bomba eólica, como o ocorrido no município de Frei Paulo que conseguiu com esta média de ventos bombear 1.347.840 litros anuais de água.

Cabe lembrar que o regime de ventos de Santa Helena, São Miguel do Iguçu e Toledo estão acima de 2,88 m/s, sendo semelhante aos ventos de Frei Paulo, sinalizando a viabilidade de bombeamento d'água.

Em Guaíra só será viável a implantação da bomba eólica para a altura de 40 metros para os modelos de aerogerador, mas os excedentes também não dobraram o funcionamento da bomba. No caso de Palotina a bomba é capaz de ser alimentada apenas à 40 metros e com o modelo LMW 600 e por fim Foz do Iguçu se não mostrou apta sequer para alimentar a bomba eólica em nenhum dos cenários simulados.

Nogueira et. al (2013) implantou um sistema eólico caseiro, composto por cata-vento e bomba d'água no campus da Universidade Federal de Santa Maria –RS com custo aproximado de R\$ 1.300,00 e embora a média de ventos tenha sido menor que 3 m/s, o autor salienta que estes projetos eólicos devem ser considerados mesmo em face da baixa velocidade do vento, uma vez que sistemas elétricos de irrigação possuem elevado custo quando comparados aos empreendimentos eólicos.

Ainda de acordo com Nogueira et. al. (2013), o sistema eólico caseiro foi capaz de bombear 1litro d'água por minuto com ventos de 2,83 m/s. Krauter (2005) também afirma que é viável utilizar o recurso eólico para o bombeamento de água com ventos a partir de 3 m/s.

5. CONCLUSÕES

Não foi encontrado um padrão entre os municípios estudados com relação a estação do ano com maior velocidade do vento, sendo que em Cascavel, Santa Helena, São Miguel do Iguçu e Toledo as melhores médias de velocidade do vento ocorreram no período de inverno. Para Assis Chateaubriand, Guaíra e Palotina as melhores médias de velocidade do vento ocorreram no período da primavera e por fim, apenas em Foz do Iguçu as melhores médias de velocidade do vento ocorreram no período do verão.

O município de Cascavel apresentou as maiores médias de velocidade do vento com 4,03, 4,84 e 5,32 m/s as alturas de 10, 25 e 40 metros, respectivamente; além de ter um regime de ventos mais estável no eu diz respeito a incidência de ventos entorno da média, fato evidenciado pelo maior valor do fator de forma igual a 2,33. Desta forma, Cascavel obteve o maior potencial eólico dentre as localidades avaliadas, seguido de Assis Chateaubriand. No caso de São Miguel do Iguçu, Santa Helena e Toledo é mais indicado que outra fonte renovável integre a planta de microgeração devido ao baixo potencial eólico demonstrado. Por fim Guaíra, Palotina e Foz do Iguçu apresentaram as piores médias de vento e conseqüentemente os piores potenciais, demonstrando ineficiência no aproveitamento do recurso eólico.

No que tange a energia anual gerada nenhum município foi capaz de atender a demanda de uma residência e, portanto, em nenhum caso foi possível gerar excedentes que pudessem compor o sistema de compensação elétrica da geração distribuída. Já com relação a demanda elétrica exigida ao funcionamento da bomba d'água apenas Foz do Iguçu não foi capaz de supri-la.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. Brasília: ANEEL, 2003. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 28 mar. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Dados de Informações Gerenciais-BIG**. Brasília: ANEEL, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 28 mar. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Caderno Temático de Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília. ANEEL, 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>. Acesso em : 20 nov. 2014.
- AHRENS, C. D. **Essential of meteorology: an invitation to the atmosphere**. 3 ed. Belmont: Thomson Brooks Cole, 2000. 454p.
- ALÉ, J.A.V; PEÑA, G. M.; ADEGAS, F.D., **Performance of small Wind turbines generators**. In: ISES 2003. Solar Word Conference, Gothenburg, 2003.
- ALVES, J. J. A. **Análise regional da energia eólica no Brasil**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 165-188, Jan-Abr. 2010.
- AMARANTE, O. A. C.; ZACK, M. B. J; SÁ, A. L. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Eletrobras, 2001.
- AMÊNDOLA, C. A. M. **Contribuição ao estudo de aerogeradores de velocidade e passo variáveis com gerador duplamente alimentado e sistema de controle difuso**. 2007. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- BENTES, D. S. **Análise do comportamento energético das fontes sola e eólica disponível em Cascavel, Paraná**. 2014. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.
- BUTTERBY, R.; FERREIRA, K. C. **Energia eólico como alternativa sustentável para o Centro-Oeste**. Conjuntura Econômica Goiana, Goiânia, n.10, p. 77. 2004.
- CAMARGO, A. S. G. **Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades do Paraná**. 2005. 224f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia)- Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.
- CAMPOS, M. J. et. al. **Estimativa do potencial eólico do município de Palotina- Paraná**. Acta Iguazu, Cascavel, v.1, n.2, p. 94-103, 2012.

COSTA, C. V. **Políticas de promoção de fontes novas e renováveis para geração de energia elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro.** 2006. 233f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético)– Instituto Alberto Luiz de Coimbra Pós Graduação e Pesquisa, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DENAULT, M. et al. **Complementarity of hydro and wind power: improving the risk of energy inflows.** Energy Policy, v. 37, p. 5376-5384, Dez. 2009.

DUTRA, R. (Org.). **Energia Eólica princípios e tecnologia.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2008, 58p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2013.** Brasília: EPE, 2013. Disponível em: http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf. Acesso em: 01/05/2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilão de Reserva 2011.** Brasília: EPE, 2011. Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20111220_1.pdf. Acesso em: 28 mar.2014.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind force12- a blueprint to achieve 12% of the world's electricity from Wind power by 2020.** Bélgica: EWEA, 2003. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/wf12-2005.pdf. Acesso em: 28 mar.2014.

FAVERA, A.C.D.; et.al. **Potencial eólico no Rio Grande do Sul – Distribuição estatística dos ventos na região central do estado.** Revista Geográfica Acadêmica, v.6, n.1, p. 38-51, 2012.

FERNÁNDEZ DIEZ, P. **Energía eólica.** [s.l.:s.n.], Universidad de Cantabria. 2003. p.01-20.

FEITOSA, E. O. et. al. **Simulação do aproveitamento da energia eólica para irrigação no distrito de irrigado Baixo Acaraú – CE.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.3, p. 65-79, 2014.

FERREIRA, H. T. **Energia eólica: barreiras a sua participação no setor elétrico brasileiro.** 2008. 97f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GASCH, R. and TWELE, J. (Eds). **Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation.** 2 ed. Berlin: Springer, 2012. 548 p.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Análise do marco regulatório para a geração eólica no Brasil,** São Paulo: [s.n.], 2011. Disponível em: http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Brazil_report_2011.pdf. Acesso em: 28 mar.2014.

GONÇALVES, N. **Armazenagem e decisões estratégicas na comercialização de soja na mesorregião do oeste paranaense.** 2011. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação

em Engenharia Agrônômica)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GRUBB, M.; MEYER, I.N. **Wind Energy: resources, systems and regional strategies, renewable energy sources for fuels and electricity**. Washington, DC: Island Press, 1994. *apud* GREENPEACE, 1999 *Op. cit.*

HIRATA, M. **Uma introdução ao aproveitamento da energia eólica**. In: Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2004, Rio de Janeiro.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas nacional de saneamento 2000**. IBGE, 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag31.pdf. Acesso em: 20 mar.2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2012**. IBGE, 2012. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/indicadoresminimos/sinte_seindicsociais2009/default.shtm. Acesso em: 20 mar.2014.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Leituras regionais: mesorregião do oeste paranaense**. Curitiba: IPARDS, 2004, 143p. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/webasis.docs/leituras_reg_sumario_executivo.pdf. Acesso em: 28 mar.2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Statistics – renewables Information 2007**. Paris: IEA, 2007. Disponível em: <http://www.iea.org/statistics/>. Acesso em: 28 mar.2014.

JUSTOS, C.G.et. al. **Methods for estimating Wind speed frequency distributions**. Journal of Applied Meteorology, Boston, v.17, n.13, p.350-353, 1978.

KRAUTER, S. **Usos da energia eólica**. Rio de Janeiro: [s.n.], Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

KROHN, S. **Danish Wind Turbine Manufacture Association- Guided Tour on Wind Energy**. Copenhagen, 2001. Disponível em: <<http://www.windpower.org>>. Acesso em: 28 mar.2014.

LEITE, M.L.; FILHO, J. S. V. **Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa –PR**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, n. 2, p. 157-167, 2006.

LOPES, L. C. N. **Avaliação do sistema eólico-elétrico de bombeamento de água**. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Ceará, 2011.

MANGAS, R. **Redes de distribuição de energia com microgeração- Avaliação do impacto de diferentes condições de licenciamento**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2009.

MANWELL, J. F. et. al. **Wind energy explained**. New York: Wiley, 2002.

MARTINS, F. R. et. al. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, p. 1304- 1313. 2008.

MIGUEL, A. R. F. **Análise do potencial eólico para a geração de energia elétrica usando dados em microescala de estações climatológicas no estado de São Paulo**. 2004. 146f. Dissertação (Mestrado em Planejamento em Sistemas Energéticos) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA: **Apresentação I seminário Rio-Brasil: o desafio da energia eólica**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/Desenvolvimentoenergético/documentos/>. Acesso em: 28 mar.2014.

NOGUEIRA, C. et. al. **Utilização de sistema solar e eólico no bombeamento de água para isso na irrigação**. Engevista, v.15, n.2, p. 125-137. Ago. 2013.

NOGUEIRA, L. P. P. **Estado atual e perspectivas futuras para a indústria eólica no Brasil**. 2011. 137f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)- Instituto Alberto Luiz de Coimbra Pós Graduação e Pesquisa, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PARIZOTTO, R.R. et. al. **Análise da viabilidade técnica de implantação de aerogeradores eólicos de pequeno porte em residências**. Revista Acta Iguazu, v.1, n.14, p. 55-64, 2012.

PINTO, A.C.; NETO, P.J.S. **Uma revisão do estado da arte sobre a aplicação de aerogeradores de pequeno porte no contexto de redes inteligentes**. Revista Ciências Exatas e Naturais, v.14, n.1, p. 103-132, Jan-Jun. 2012. DOI 10.577.

PINTO, M. **Fundamentos na energia eólica**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PRADO, P. O. **Projeto de um parque eólico com utilização de sistema de informação geográfica**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

RICOSTI, J. F.C. **Inserção da energia eólica nos sistema hidrotérmico brasileiro**. 2011. 211f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, R. G. **Avaliação do potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz-FAG em Cascavel-Paraná**. In: I Seminário Internacional de Ciência, Tecnologia e Ambiente, 2009, Cascavel.

SCHULTZ, D.J.; DA ANUNCIACÃO, S.M; DE SOUZA, M. L.; MAROZINSKI, P.R, **Atlas do potencial eólico do Estado do Paraná**. Curitiba: Agência Nacional de Energia Elétrica-Copel, 2007.

SIMAS, M, S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa de geração de empregos por meio de uma matriz insumo produto ampliada**. 2012. 220f.

Dissertação (Mestre em Ciências)- Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SIMEPAR – Instituto Tecnológico. **Dados das estações.** Cascavel, 2013. Arquivo digital.

SOBRAL, F. S. B. **Avaliação do potencial eólico para a geração de energia na zona rural do estado de Sergipe.** 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)- Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2009.

TORRES, F.T.P; MACHADO, P.J.O. **Introdução à climatologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

APÊNDICES

Apêndice 1. Velocidade média por estação do ano

		Outono	Inverno	Primavera	Verão
Assis Chateaubriand	10 m	2,84	3,29	3,46	3,03
	25 m	3,41	3,95	4,13	3,64
	40 m	3,75	4,34	4,56	4,00
Cascavel	10 m	3,70	4,56	4,33	3,52
	25 m	4,45	5,48	5,20	4,22
	40 m	5,86	6,02	5,71	4,64
Foz do Iguaçu	10 m	1,38	1,57	1,60	1,61
	25 m	1,66	1,89	1,92	1,94
	40 m	1,83	2,08	2,11	2,13
Guaíra	10 m	1,80	2,08	2,22	2,17
	25 m	2,16	2,49	2,67	2,61
	40 m	2,37	2,74	3,52	2,87
Palotina	10 m	1,51	2,05	2,08	1,80
	25 m	1,82	2,47	2,50	2,16
	40 m	1,99	2,70	2,75	2,38
Santa Helena	10 m	2,17	2,97	2,81	2,41
	25 m	2,60	3,57	3,37	2,89
	40 m	2,86	3,92	3,70	3,18
São Miguel do Iguaçu	10 m	2,44	3,14	2,98	2,55
	25 m	2,93	3,77	3,58	3,06
	40 m	3,22	4,14	3,93	3,36
Toledo	10 m	2,06	2,76	2,52	2,25
	25 m	2,48	3,32	3,03	2,70
	40 m	2,72	3,65	3,33	2,97

Apêndice 2. Porcentagem suprida da demanda residencial por turbinas

		10 metros	25 metros	40 metros
Assis	AIR 403(400 W)	5,36%	7,92%	9,70%
Chateaubriand	LMW (600 W)	6,19%	11,99%	15,90%
Cascavel	AIR 403(400 W)	8,31%	12,38%	15,38%
	LMW (600 W)	12,61%	22,14%	28,38%
Foz do Iguaçu	AIR 403(400 W)	1,20%	1,94%	2,44%
	LMW (600 W)	0,29%	1,11%	1,86%
Guaíra	AIR 403(400 W)	2,46%	3,73%	4,57%
	LMW (600 W)	1,81%	4,09%	5,76%
Palotina	AIR 403(400 W)	2,27%	3,46%	4,28%
	LMW (600 W)	2,03%	4,13%	5,68%
Santa Helena	AIR 403(400 W)	3,43%	4,99%	6,08%
	LMW (600 W)	2,35%	5,62%	8,12%
São Miguel do Iguaçu	AIR 403(400 W)	3,95%	5,81%	7,11%
	LMW (600 W)	3,57%	7,65%	10,58%
Toledo	AIR 403(400 W)	3,01%	4,49%	5,50%
	LMW (600 W)	2,33%	5,27%	7,42%