

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Rafael de Oliveira Bailão

**ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E ANÁLISE DE REGIÕES
PROPÍCIAS À INSTALAÇÃO DE MICROCENTRAIS E MINICENTRAIS
EÓLICAS NO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

RAFAEL DE OLIVEIRA BAILÃO

**ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E ANÁLISE DE REGIÕES
PROPÍCIAS À INSTALAÇÃO DE MICROCENTRAIS E MINICENTRAIS
EÓLICAS NO PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 - TCC 2 , do curso de Engenharia Ambiental do Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB , do Campus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira.
Coorientador: Prof. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman.

CAMPO MOURÃO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E ANÁLISE DE REGIÕES PROPÍCIAS A INSTALAÇÃO DE MICROCENTRAIS E MINICENTRAIS EÓLICAS NO PARANÁ

por

RAFAEL DE OLIVEIRA BAILÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 01 de Dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

Prof. Dr. Maria Cristina Rodrigues Halmeman.

Prof. Dr. Edivando Vitor do Couto

Prof. Dr. Radames Juliano Halmeman

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de
Engenharia Ambiental.*

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Luiz Sergio e Aliete, a minha irmã
Graziela, pois sem o amor deles,
nada disso seria possível.

RESUMO

BAILÃO, Rafael de Oliveira. **ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E ANÁLISE DE REGIÕES PROPÍCIAS A INSTALAÇÃO DE MICROCENTRAIS E MINICENTRAIS EÓLICAS NO PARANÁ** – Paraná. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

O aumento pela demanda de energia elétrica, ocasionado devido ao crescimento populacional e desenvolvimento econômico, faz com que seja necessário a busca de novas fontes de energia alternativas. A energia eólica é sustentável e apresenta viabilidade econômica, desde que sejam realizados estudos específicos para cada região, englobando a proposição de Microcentrais e Minicentrais eólicas, que possam, consorciadamente com a Hidroelétrica, aumentar a produção energética do país. A Região Sul do Brasil destaca-se para a implantação destes empreendimentos, pois apresenta características ideais de vento e rugosidade. Assim, o estudo buscou determinar as principais áreas com potencial de geração eólica no Paraná considerando a microgeração e a minigeração distribuídas no estado, a partir das normas previstas na Resolução Normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015 da ANEEL. Para tanto, realizou-se coleta de dados dos últimos 30 anos sobre a intensidade dos ventos, além do levantamento dos modelos de aerogeradores e cálculos sobre a viabilidade da implantação no estado. Como produto, obteve-se um mapa da velocidade dos ventos do Paraná, no qual destacou-se as microrregiões Umuarama, Toledo, Cianorte, Campo Mourão, Goioerê, Cascavel e Pitanga, que estão localizadas nas melhores áreas para geração eólica, com ventos entre 2.4 m/s e 3.1 m/s. Portanto, ao se implantar aerogeradores em residências, a uma altura de 10 metros nestes locais, é possível reduzir em até 47,2 % nos custos relacionados à energia elétrica da mesma, o que torna esta prática viável, desde que haja maior incentivo por parte de políticas públicas. Assim, o estudo demonstra que a implantação destes empreendimentos é possível, desde que haja estudos técnicos e maior oferta de aerogeradores com incentivo fiscal, visando amenizar o custo e atrair maior número de adeptos a energia eólica.

Palavras-chave: Energia Eólica, Microgeração, Minigeração, Aerogerador, Microrregiões.

ABSTRACT

BAILÃO, Rafael de Oliveira. **STUDY OF THE WIND POTENTIAL AND ANALYSIS OF PROPER REGIONS THE INSTALLATION OF EOLIAN MICROCENTRAL AND MINICENTERIS IN PARANÁ - Paraná.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

The increase in demand for electricity, caused by population and economic growth, makes it necessary to search for new alternative energy sources. Wind energy is sustainable and presents economic availability, provided that specific studies are carried out for each region, which include the proposal of Micro and Mini wind power plants, which can consortium with the Hydroelectric, increase energy production for the country. The Southern Region of Brazil stands out for the implementation of these projects, since it presents ideal characteristics of wind and roughness. Thus, the study sought to determine the main areas with potential for wind power generation in Paraná, considering micro-generation and mini-generation distributed, in the state, based on the standards set forth in Resolution 687 of November 24, 2015. For this purpose, Data from the last 30 years on the intensity of the winds, besides the survey of the models of aerogenerators and calculations on the feasibility of the implantation in the state. As result, a map of the intensity of the Paraná Winds was obtained, in which the Umuarama, Toledo, Cianorte, Campo Mourão, Goioerê, Cascavel and Pitanga microregions were located, which are located in the best areas for wind generation, with winds between 2.4 m / s and 3.1 m / s. Therefore, when installing wind turbines in homes, at a height of 10 meters in these places, it is possible to reduce the costs related to the electric energy of the site by up to 47.2%, which makes this practice feasible, as long as there is greater incentive Of public policies. Thus, the study demonstrates that the implementation of these projects is possible, as long as there are technical studies and a greater offer of wind turbines with tax incentive, aiming to reduce costs and attract more adepts of wind energy.

Keywords: Wind Energy, Microgeneration, Minigeration, Wind Turbine, Microregions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de funcionamento de uma turbina eólica conectada a um sistema isolado.	15
Figura 2: Modelo esquemático do sistema de compensação energética.	18
Figura 3: Fluxograma de realização do trabalho.	22
Figura 4: Mapa da média anual da velocidade dos ventos no estado do Paraná destacando as microrregiões.....	24
Figura 5: Mapa da rugosidade do estado do Paraná.	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 Classificação climática das microrregiões do paraná.	11
3.2 Modelos de aerogeradores.....	14
3.2.1 Modelos de aerogeradores de eixo horizontal.....	15
3.2.3 Modelos de aerogeradores de eixo vertical.....	16
3.3 Geração distribuída e resolução 482 de 2012.....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32

1 INTRODUÇÃO

Segundo ANEEL (2008) a demanda de energia elétrica brasileira aumenta de acordo com o crescimento econômico com uma razão de três para dois respectivamente, ou seja, quando o crescimento econômico dobra a demanda energética triplica, tornando-se assim necessário buscar novas fontes geradoras.

Atualmente, a utilização mundial de fontes não renováveis para a produção de energia elétrica, acarreta no aumento na emissão de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂. O emprego de energias limpas, como a energia elétrica proveniente de usinas eólicas, pode amenizar este fenômeno, contribuindo assim para a sustentabilidade do planeta (SILVA, 2003).

De acordo com o *Global Wind Energy Council* (2012), em média, são produzidos 0,60 Kg de CO₂ para cada KWh produzido utilizando-se fontes não renováveis.

A busca por novas fontes de geração elétrica, aliada com a desregulamentação do mercado de energia para fontes renováveis de pequeno porte, por meio da Resolução nº 687 de 24 de Novembro de 2015 torna-se um fator estimulante para o crescimento do mercado de microgeração e minigeração elétrica no Brasil (ALDABÓ, 2002).

Define-se energia eólica como a utilização da energia cinética formada nas massas de ar em movimento para produção de energia elétrica, realizando a conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. Para isso, são utilizadas turbinas eólicas, conhecidas também como aerogeradores, e para a realização de trabalhos mecânicos, cata-ventos de diversos tipos (ALVES, 2006).

Considerando a produção de energia eólica de 750 kW por turbina, em condições favoráveis, obtém-se anualmente 2 milhões de kW/hora, reduzindo 1200 toneladas nas emissões em um único ano (Global Wind Energy Council, 2002)

O estudo foi realizado por meio de coleta de dados meteorológicos dos últimos 30 anos do livro Normais Climatológicas do Brasil (BRASIL, 1992), seguido da elaboração do mapa das condições de vento do Paraná e relacionando os aspectos técnicos da microgeração e minigeração com o panorama atual no Paraná.

Desse modo o trabalho teve por objetivo apontar as principais áreas do Paraná com potencial eólico para a implantação de unidades de microgeração

composta de central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75kW, conectada à rede de distribuição, e minigeração composta de uma central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW, conectada à rede de distribuição.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar as principais áreas com potencial de geração eólica no Paraná considerando a microgeração e a minigeração distribuída conforme Resolução nº 482 de 17 de Abril de 2012 e a Resolução nº 687, de 24 de Novembro de 2015, ambas da ANEEL.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar por meio das Normais Climatológicas do Brasil (BRASIL, 1992) para o estado do Paraná, mapa com a velocidade dos ventos, destacando suas microrregiões.
- Analisar as principais microrregiões do Paraná para a geração de energia eólica conforme o mapa de ventos gerado.
- Levantar modelos de aerogeradores para microgeração e minigeração disponíveis para o mercado Brasileiro.
- Determinar os fatores relevantes à baixa utilização dos recursos eólicos para geração de energia no estado do Paraná.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Alves (2006), o modelo econômico presente na sociedade atual onde sua fonte de riqueza consiste no consumismo, o material oriundo das inovações tecnológicas, observar-se um aumento significativo na demanda de energia fóssil e na utilização de outros recursos naturais não renováveis, tornando-se um modelo ecológico insustentável.

Ainda segundo o mesmo autor, após a assinatura do protocolo de Kyoto, diversos países estão investindo em suas matrizes energéticas buscando integrar fontes de energia renováveis a sua rede, possibilitando a criação de novas tecnologias e diminuindo sua dependência das fontes não renováveis.

3.1 Classificação climática das microrregiões do paraná

Segundo Fritzsos, Mantovani e Aguiar (2008), o Paraná possui paisagens diversificadas nos aspectos climáticos, pedológicos e cobertura vegetal, devido ao estado estar inserido em área de transição entre as zonas climáticas tropicais e subtropicais, sofrendo influência de diversas formas de circulação atmosférica, como a presença de montanhas no sul e leste, bem como maior influência oceânica no leste e maior efeito da continentalidade no oeste

Para facilitar os estudos, a literatura divide o Paraná em 39 microrregiões (Quadro 1), fornecendo informações sobre temperatura média anual, altitude, relevo predominante e direção predominante dos ventos.

Quadro 1: Informações sobre as microrregiões geomorfológicas e climáticas do Paraná.

(continua)

Microrregião	Principal Município	Relevo	Direção predominante dos ventos
MR1	Paranavaí	Topos Aplainados de dissecação baixa	Nordeste
MR2	Umuarama	Dissecação média, topos alongados e aplainados	---
MR3	Cianorte	Dissecação média, topos alongados e isolados	Leste
MR4	Goioerê	Dissecação baixa, topos aplainados	---
MR5	Campo Mourão	Dissecação baixa, topos aplainados	---
MR6	Astorga	Topos Aplainados de dissecação baixa	---

(continua)

MR7	Porecatu	Dissecação média, topos alongados	---
MR8	Floraí	Dissecação baixa, Topos alongados e aplainados	---
MR9	Maringá	Dissecação baixa, Topos alongados e aplainados	---
MR10	Apucarana	Dissecação alta, topos alongados	---
MR11	Londrina	Dissecação média, topos alongados	Leste
MR12	Faxinal	Dissecação alta, topos alongados	---
MR13	Ivaiporã	Dissecação média, topos alongados	Sudeste
MR14	Assaí	Dissecação média, Topos Alongados	---
MR15	Cornélio Procópio	Dissecação média, Topos Alongados	Sudeste
MR16	Jacarézinho	Dissecação média, Topos Alongados	---
MR17	Ibaiti	Dissecação baixa, Topos Alongados	---
MR18	Wenceslau Braz	Dissecação Alta, Topos Alongados	---
MR19	Telêmaco Borba	Dissecação baixa, Topos Alongados	Sudeste
MR20	Jaguariaíva	Dissecação Alta, Topos Alongados	---
MR21	Ponta Grossa	Dissecação Média, Topos Alongados	Nordeste
MR22	Toledo	Dissecação Média, Topos alongados e aplainados	Nordeste
MR23	Cascavel	Dissecação Média, Topos alongados e aplainados	Nordeste
MR24	Foz do Iguaçu	Dissecação baixa, Topos alongados	---
MR25	Capanema	Dissecação alta, topos alongados e em cristas	---
MR26	Francisco Beltrão	Dissecação média, Topos alongados	---
MR27	Pato Branco	Dissecação média, Topos aplainados	---
MR28	Pitanga	Dissecação média, Topos Alongados	---
MR29	Guarapuava	Dissecação baixa, Topos Alongados	Leste/Nordeste
MR30	Palmas	Dissecação baixa, Topos Alongados	Nordeste
MR31	Prudentópolis	Dissecação baixa, topos Aplainados	---
MR32	Irati	Dissecação média, Topos alongados e isolados	---
MR33	União da Vitória	Dissecação baixa, Topos Alongados	---
MR34	São Mateus do Sul	Dissecação Baixa, Topos Aplainados	---
MR35	Cerro Azul	Dissecação alta, Topos alongados e em cristas	---

(conclusão)

MR36	Lapa	Dissecação média, Topos alongados e aplainados	Leste/Nordeste
MR37	Curitiba	Dissecação média, Topos alongados e aplainados	Leste/Nordeste
MR38	Paranaguá	Dissecação média, Topos alongados e aplainados	Nordeste
MR39	Rio Negro	Dissecação média, Topos alongados e aplainados	---

Fonte: adaptado de Pardes (2012), Mineropar (2006), Caviglione et. al. (2000)

As movimentações atmosféricas dos ventos, ocorrem devido a diferença de pressão entre duas regiões, sendo esta resultante da absorção diferenciada de raios solares. O ar é o meio onde ocorre a circulação das massas, sendo considerado um fluido de características dependentes da expansão volumétrica, variando de acordo com o aumento da temperatura (PEREIRA, ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Além disso, outras variáveis podem influenciar na intensidade dos ventos, como a altitude e o relevo, haja visto que a velocidade do vento é diretamente proporcional à altura. Esta variável é regida por um fenômeno denominado *wind shear*, definido como o atrito entre o ar mais lento e mais rápido, acarretando no seu aquecimento. Com isso, a velocidade do vento é mais baixa e com menor energia quanto maior for a proximidade do solo (SANTOS et. al., 2006).

As regiões Sul e Nordeste, são as que possuem maior potencial eólico do Brasil. Na região Sul, as máximas cotas altimétricas, atingem velocidades de vento variando entre 7 a 8 m/s, sendo influenciadas pelo relevo e a rugosidade do terreno, possuindo potencial de produzir até 41,1 Twh/ano (EPE, 2007).

No entanto, é notável que grande parte da produção eólica brasileira concentra-se na região Nordeste, fato este atribuído, de acordo com EPE (2007), ventos constantes e direcionais em 80% do ano, possuindo velocidades médias de 8 m/s. Ainda, é a região que possui maior necessidade da produção elétrica associada a outras fontes, haja visto que durante o período de seca, há prejuízos no potencial de geração das usinas hidroelétricas.

Regulamentado a partir da Lei nº 10.438, de 26 de Abril de 2002, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) visa aumentar o uso de energias renováveis na matriz energética brasileira, estando inclusos a eólica, por meio de financiamentos e incentivo a construção de novas indústrias.

A partir deste incentivo, o governo espera diversificar as fontes de energia atuais, visando amenizar a dependência de apenas uma tipologia, como é o caso da energia hidroelétrica.

3.2 Modelos de aerogeradores

Segundo Tarnowski (2006), os aerogeradores são instalados em regiões geográficas com recursos eólicos comprovados e utilizam a energia cinética do vento para gerar eletricidade sendo, portanto uma fonte de energia renovável inesgotável.

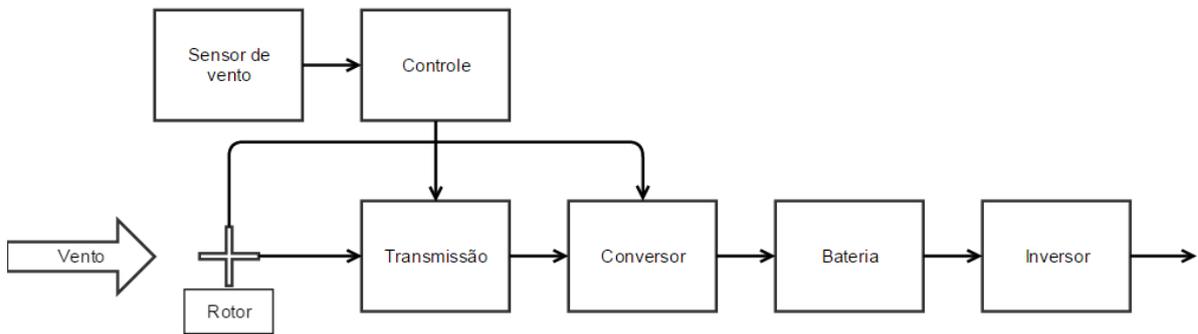
Os aerogeradores podem ser conectados a dois tipos de sistemas:

- Sistema isolado, que não é conectado à rede de transmissão de energia e utiliza baterias para estocar energia elétrica.
- Sistema conectado à rede, funcionando de acordo com o sistema de compensação energética.

Para a conversão de energia cinética em energia elétrica, os aerogeradores são compostos pelos seguintes equipamentos (Figura 1) (ALDABÓ, 2002):

- Rotor, sendo responsável pela captação da energia cinética dos ventos, realizando a conversão em energia mecânica;
- Transmissão, o qual transfere a energia mecânica do eixo rotor para ao gerador;
- Controle; constituído de diversos sensores que monitoram o bom funcionamento do sistema;
- Conversor; que transforma a energia mecânica do eixo em energia elétrica.
- Bateria; para o armazenamento de energia elétrica, comumente utilizada em localidades isoladas.
- Inversor; realizando a conversão de energia elétrica de corrente contínua para corrente alternada.

Figura 1: Diagrama de funcionamento de uma turbina eólica conectada a um sistema isolado



Fonte: Adaptado de Aldabó (2002, p. 29)

3.2.1 Modelos de aerogeradores de eixo horizontal

Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais utilizados, possuindo diversos modelos e fabricantes (Quadro 2 e 3). De acordo com Ribeiro (2008), as principais vantagens dos aerogeradores de eixo horizontal são, a facilidade de arranque, potência elevada de geração e a possibilidade de instalação em diversos ambientes sem perda de potência. Contudo, as principais desvantagens observadas são a dificuldade de instalação e transporte, nível de ruído elevado devido às vibrações e o impacto visual das instalações.

Quadro 2: Modelos de aerogeradores de eixo horizontal utilizados na microgeração

Microgeração	
Modelo: Skystream Potencia: 2.4 kW Diâmetro do rotor: 3.7 metros Número de pás: 3 Altura do mastro: 10 metros Ruído: 35 dB	
Modelo: NPS 60-24 Potencia: 60 kW Diâmetro do rotor: 24.4 metros Número de pás: 3 Altura do mastro: 23 a 37 metros Ruído: 55 dB	

Fonte: WindUp, 2015

Quadro 3: Modelos de aerogeradores de eixo horizontal utilizados na minigeração.

Minigeração	
Modelo: Northern Power® 100C-24	
Potencia: 110 kW	
Diâmetro do rotor: 24,4 metros	
Número de pás: 3	
Altura do mastro: 22 a 37 metros	
Ruído: 50 dB	

Fonte: WindUp, 2015

3.2.3 Modelos de aerogeradores de eixo vertical

Os aerogeradores de eixo vertical não apresentam modelos de minigeração devido à baixa potência de seus sistemas. Segundo Silva (2008) a principal vantagem dos aerogeradores de eixo vertical é de não necessitarem de mecanismos para orientação do vento, podendo utilizar ventos de qualquer direção para a sua geração, tornando menos complexo seus projetos. Aerogeradores de eixo vertical apesar de serem mais simples, não produzem a mesma potência dos aerogeradores de eixo horizontal, devido ao fato de utilizarem ventos mais próximos do solo, sendo estes com menor velocidade.

Quadro 4: Modelos de aerogeradores de eixo vertical utilizados na microgeração

Microgeração	
Modelo: Aeolos V	
Potencia: 5,5 kW	
Diâmetro do rotor: 3 metros	
Altura do mastro: 3.6 METROS	
Ruído: 45 dB	
Modelo: SILENT V	
Potencia: 5 kW	
Diâmetro do rotor: 24.4 metros	
Altura do mastro: 5 metros	
Ruído: 50 dB	

Fonte: WindUp, 2015

3.3 Geração distribuída.

Em 2012, a geração de energia por meio de fontes renováveis recebeu um impulso regulatório a partir da Resolução Normativa da ANEEL 482/2012 tornando possível a geração distribuída ao considerar micro e minigeradores conectados a matriz energética.

Define-se Geração Distribuída (GD), como toda fonte geradora que destina toda ou parte de sua produção, a cargas locais ou próximas (COHEN, 2002). Segundo Rodríguez (2002) a GD tende a ampliar a gama de opções na geração, tornando o suprimento de energia mais seguro, permitindo o desenvolvimento local, a partir da criação de empregos oriundos das empresas especializadas no setor de geração.

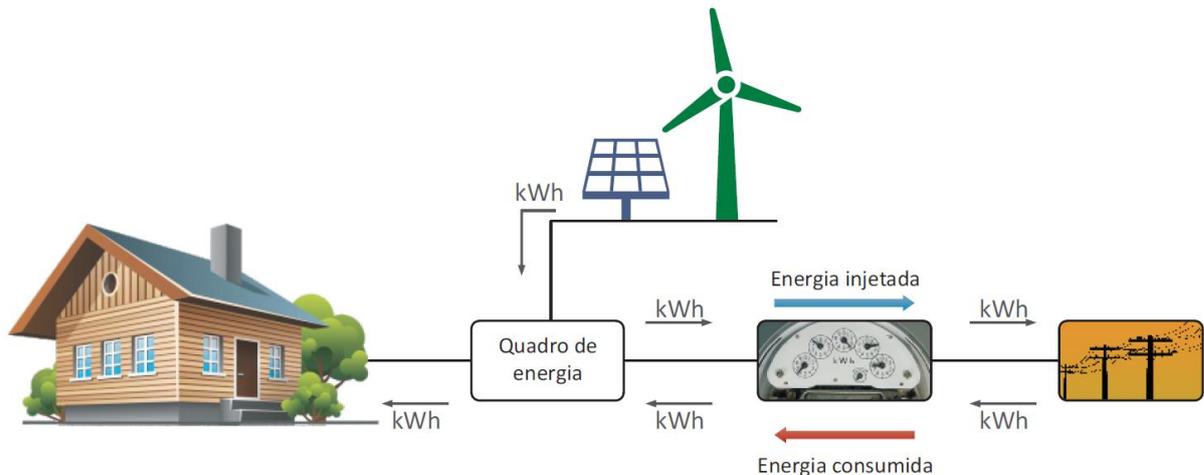
A Resolução Normativa da ANEEL nº 687, de 24 de Novembro de 2015, modificou os parâmetros para caracterizar a micro e mini geração distribuída.

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015 altera o Art. 2º, parágrafo III da Resolução 482/2012, sobre o sistema de compensação energética, o qual dispõe sobre o fornecimento de energia pelo gerador a concessionária, sendo descontada do seu consumo, a quantidade gerada. Caso o consumo seja inferior à geração obtém-se crédito podendo ser utilizados posteriormente no mesmo ou em diferentes unidades consumidoras, desde que as outras unidades sejam do mesmo titular e no período de 60 meses (Figura 2).

Figura 2: Modelo esquemático do sistema de compensação energética



Fonte: ANEEL, 2014

A Resolução nº 482 também define os termos para o acesso dos consumidores/geradores a rede, estabelecendo o prazo de 240 dias a partir da publicação da resolução para as distribuidoras se adequarem aos sistemas de micro e minigeração e elaborar normas técnicas para a adesão dos consumidores.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015 altera o Art. 4º, definindo a não necessidade de assinatura de contrato de uso e conexão de central geradora para microgeração e minigeração, apenas um Acordo Operativo para os minigeradores e o Relacionamento Operacional para os microgeradores. A mesma resolução, em seu parágrafo único dispõe os custos de eventuais alterações em função da conexão de micro e minigeradores devem ser arcados pela distribuidora.

Para o estado do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (2015) define em seu portal os requisitos para a integração no sistema de compensação energética. Para tanto, é necessário o preenchimento do formulário para solicitação de acesso disponível no portal; sendo: projeto das instalações de conexão, incluindo memorial descritivo, localização, arranjo físico e diagramas; anotação de responsabilidade técnica (ART); licença ambiental ou dispensa; informações a respeito da unidade geradora.

3.4 Caracterização das variáveis necessárias para estimar o potencial eólico

Uma condição necessária para a conversão eficiente da energia contida no vento em energia elétrica é a existência de um fluxo constante e velocidade mínimas

de vento. Fatores como densidade do ar, velocidade média do vento, área do rotor do aerogerador e rugosidade do terreno são características básicas para estimar o potencial eólico de uma determinada área.

3.4.1 Rugosidade do terreno.

Segundo Loredo-Souza et al (2004) a rugosidade do terreno controla o valor de cisalhamento e, por conseguinte a velocidade de corte, portanto quanto maior a rugosidade de uma superfície menor será a quantidade de movimento proporcionada. Em áreas de campo aberto, que apresentam baixa rugosidade, obtém-se menor déficit de quantidade de movimento. Dessa forma centros urbanos, por apresentarem superfícies de maior rugosidade, propícia diferentes perfis de velocidade média do vento.

De acordo com Silva, Gonzalez e Filho (2011), a modificação da rugosidade do terreno, principalmente em áreas metropolitanas edificadas, compromete a circulação eficaz das correntes de ar, aumentando a temperatura, criando microclimas.

Almeida (2008), salienta que a rugosidade do terreno pode ser dividida em 5 classes, onde a classe 0 corresponde a superfícies lisas sem irregularidades, enquanto a classe 5 corresponde a áreas com grande densidade de arvores e/ou construções. Os obstáculos mais comuns na implantação de usinas eólicas são arvores, rochedos e construções, podendo inviabilizar o projeto caso ocorra a mudança na direção predominante dos ventos.

3.4.2 Área do rotor do aerogerador

Segundo Tarnowski (2006), as turbinas eólicas geram energia mecânica pela ação do vento sobre a superfície de suas pás, produzindo torque resultante e movimentando o eixo do gerador.

Para Jervell (2008) a potência disponível ao aerogerador é proporcional à área do rotor como pode ser observado na equação:

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot AV^3 \cdot Cp$$

Equação 1: Potencia disponível ao gerador. Onde: P: Potencia disponível; ρ : Densidade do ar; V: Componente da velocidade horizontal; A: Área das pás; Cp: Eficiência do rotor.
Fonte: Jervel, 2008.

3.4.3 Densidade do ar

De acordo com Ammonit (2015), a densidade do ar é uma variável importante no cálculo da potência cinética do vento, essa está relacionada com a altitude e a temperatura da região. Quanto maior a densidade do ar, maior será a potência produzida na turbina, e para estima-la utiliza-se a Equação 2.

$$p = \frac{P}{R \cdot T}$$

Equação 2: Formula para cálculo da densidade do ar. Onde: ρ = densidade do ar (em kg/m³); P = pressão atmosférica, em pascal; R = constante dos gases perfeitos, 287,05 para ar seco; T = temperatura em Kelvin (K).
Fonte: Ammonit, 2015.

A Tabela 1 apresenta a variação da altitude com a pressão atmosférica.

Tabela 1: Variação da altitude com a pressão atmosférica

Altitude	Pressão (kgf/cm ²)
0	1,033
100	1,021
200	1,008
300	0,996
400	0,985
500	0,973
600	0,96
700	0,948
800	0,936
900	0,925
1000	0,915
2000	0,81

Fonte: Ammonit, 2015

3.4.4 Velocidade média do vento.

A velocidade média do vento é a variável mais importante para a geração de energia eólica, uma vez que a potência obtida pelo gerador varia em função do cubo da velocidade do vento.

Segundo Lopes et al. (2000), a velocidade do vento varia de acordo com o local, estação do ano e clima da região. Portanto é necessário um amplo estudo das condições de vento da região, utilizando-se de vários modelos matemáticos, para determinar a viabilidade de instalação de usinas eólicas.

Para verificar a velocidade do vento em determinado local, o equipamento mais usual é o anemômetro de conchas. Contudo, devido a inercia, este não consegue registrar velocidades abaixo de 0.5 m/s. Além disso, este aparelho possui maior reação com o aumento da velocidade, do que com a diminuição (ALVES, 2006)

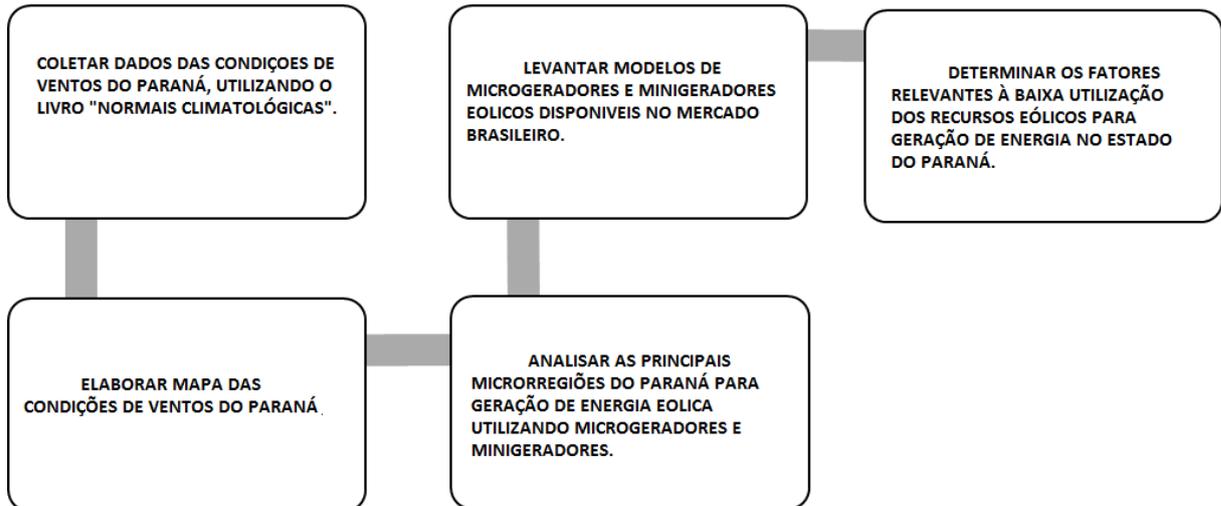
Existem problemas relatados a construção de novos parques eólicos, principalmente no que tange a não consideração da mudança da direção dos ventos. Além disso é necessário estimar uma distância mínima entre as unidades geradoras, visando, caso ocorra mudança na direção dos ventos, que este fato não atrapalhe uma unidade em relação a outra. A distância ideal, varia de 3 a 10 vezes o diâmetro do rotor em todas as direções (ALVES,2006).

A caracterização de um vento estável é realizada levando-se em consideração a frequência e persistência dos ventos. A primeira indica o número de vezes que a velocidade do vento mantém-se estável dentro de um período pré-determinado. Já a persistência é definida como o tempo continuo em que o vento mantém uma velocidade. Estas informações são importantes para se avaliar adequadamente o potencial eólico de determinado local. O mais comum é a observação de dados históricos de no mínimo 5 anos para obter-se uma análise precisa (ALVES, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado por meio da coleta e análise de dados, relacionando os aspectos técnicos e políticos da microgeração e minigeração de energia eólica no Paraná (Figura 3).

Figura 3: Fluxograma de realização do trabalho



Fonte: Autoria própria

A coleta de dados foi realizada a partir de publicações, dos últimos 30 anos, do livro Normais Climatológicas do Brasil (BRASIL, 1992), contendo informações sobre, intensidade dos ventos (m/s) e as coordenadas geográficas das estações meteorológicas.

Com os valores coletados foi elaborado um mapa utilizando o software Quantum GIS 2.8, com a distribuição geográfica dos estabelecimentos geradores existentes no Paraná; localização das estações meteorológicas e as condições de ventos das microrregiões. Utilizou-se o método de krigagem, que consiste na interpolação de dados, preservando os valores intermediários, resultando em uma maior suavização dos dados, diminuindo o contraste entre polígonos (JAKOB, 2002). Ocorreu a análise e discussão do mapa gerado, correlacionando à literatura existente, com o potencial eólico de cada microrregião verificando aumentar a potência instalada nos locais analisados.

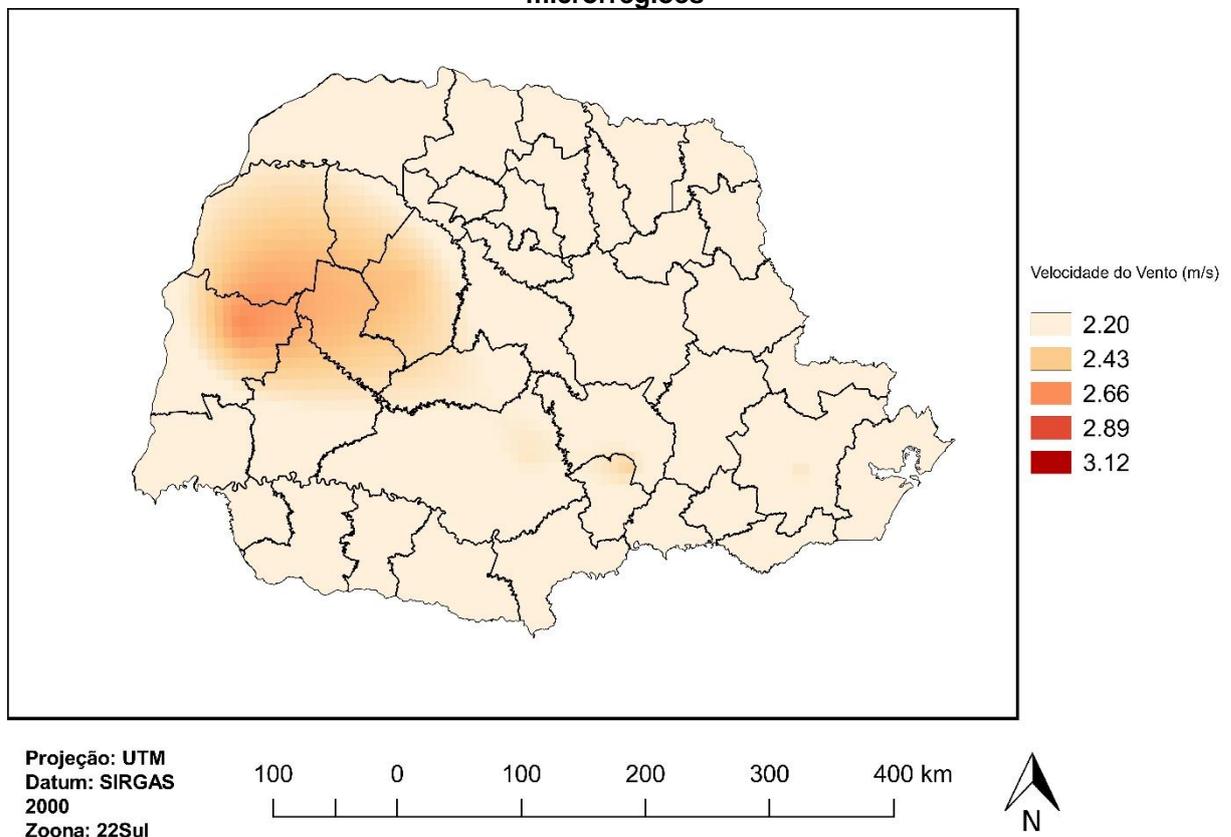
Ainda, levantou-se os modelos de aerogeradores para microgeração e minigeração, disponíveis no mercado brasileiro, por meio das informações de empresas especializadas.

Por fim foi analisado o potencial eólico do Paraná para geração distribuída, destacando as principais áreas com potencial de microgeração e minigeração, bem como os fatores limitantes da sua implementação, dada a sua baixa utilização no estado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os dados disponíveis, elaborou-se o mapa (Figura 4) normal climatológica da velocidade dos ventos no estado do Paraná destacando as microrregiões. O mapa foi elaborado utilizando as velocidades de ventos iguais ou superiores a 2.2 m/s, devido a impossibilidade de encontrar geradores que funcionem com valores de vento inferiores.

Figura 4: Normal climatológica da velocidade dos ventos no estado do Paraná destacando as microrregiões



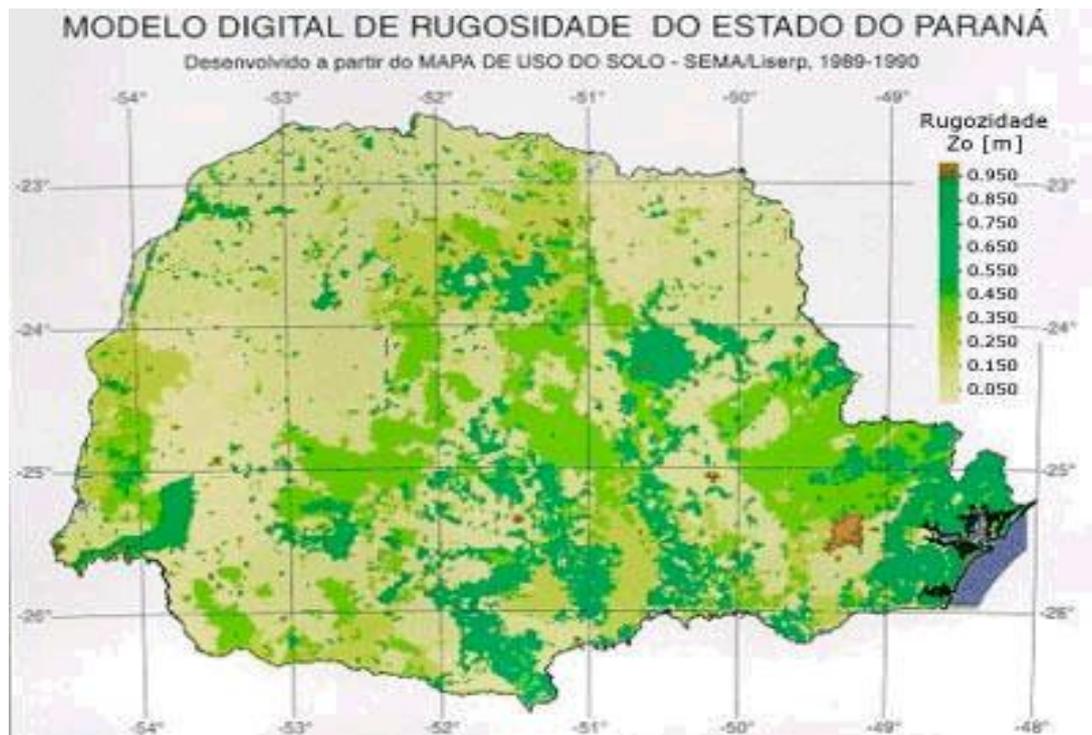
Fonte: Autoria Própria

Segundo Pinto (2001), faz-se necessário ao menos 2 anos de medições consecutivas para determinar o potencial eólico utilizável de uma região, determinando a sazonalidade dos ventos e suas variâncias.

Devido às dimensões do estado do Paraná, rugosidade e altitudes variadas onde encontram-se as estações meteorológicas, diversos regimes de ventos diferentes agem sobre o estado (PINTO, 2001).

Ao analisar-se a rugosidade do terreno no estado do Paraná (Figura 5), é possível observar que as áreas que compreendem as maiores velocidades de vento (Figura 5), são aquelas onde a rugosidade do terreno é baixa, com exceção da microrregião de Curitiba, ao sudeste.

Figura 5: Mapa da rugosidade do estado do Paraná



Fonte: Copel, 2007

As microrregiões Umuarama, Toledo, Cianorte, Campo Mourão, Goioerê, Cascavel e Pitanga estão localizadas nas melhores áreas para geração eólica, com ventos entre 2.4 m/s e 3.1 m/s. De acordo com Ramos e Seidler (2011), apesar dos maiores valores de velocidade de vento encontrarem-se no litoral brasileiro, diversas regiões do interior do país, apresentam velocidades de ventos apropriadas para geração eólica, devido à baixa rugosidade e a condições topográficas.

Os anemômetros utilizados para coleta de dados sofrem interferências de acordo com a rugosidade e relevo da área, sendo que quanto mais próximo do solo o anemômetro, maior a interferência (GARBE; MELLO; TOMASELLI, 2014). Os dados utilizados foram coletados pelo INMET, que utiliza anemômetros situados a 10 metros do solo, altura esta, considerada baixa até para os padrões da microgeração e minigeração, já que a maioria dos aerogeradores possuem torres maiores que 10 metros.

Apenas com o mapa da média anual da velocidade dos ventos no estado do Paraná (Figura 4), não é possível quantificar a capacidade produtiva de um aerogerador. Para elencarmos sua eficiência utilizou-se a média anual da velocidade de vento de cada microrregião (Tabela 2) e a Equação 1.

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot AV^3 \cdot C_p$$

Equação 1: Potencia disponível ao gerador. Onde: P: Potencia disponível; ρ : Densidade do ar; V: Componente da velocidade horizontal; A: Área das pás; C_p : Eficiência do rotor.
Fonte: Jervel, 2008.

Tabela 2: Média anual da velocidade de vento nas microrregiões

Microrregião	Média Anual	Microrregião	Média Anual
Apucarana	1,654	Jaguariaíva	1,083
Assaí	1,254	Lapa	1,877
Astorga	1,670	Londrina	1,450
Campo mourão	2,342	Maringá	1,829
Capanema	1,517	Palmas	1,339
Cascavel	2,158	Paranaguá	1,814
Cerro azul	1,528	Paranavaí	2,013
Cianorte	2,313	Pato branco	1,538
Cornélio Procópio	1,057	Pitanga	2,218
Curitiba	1,951	Ponta grossa	1,529
Faxinal	1,811	Porecatu	1,353
Floraí	2,039	Prudentópolis	2,048
Foz do Iguaçu	1,629	Rio negro	1,975
Francisco Beltrão	1,507	São Mateus do Sul	1,715
Goioerê	2,457	Telêmaco Borba	1,496
Guarapuava	2,033	Toledo	2,289
Ibaiti	1,115	Umuarama	2,393
Irati	2,079	União da vitória	1,644
Ivaiporã	2,020	Wenceslau Braz	0,923
Jacarezinho	0,838		

No mapa da média anual da velocidade dos ventos no estado do Paraná (Figura 5), há velocidades de ventos superiores às apresentadas na Tabela 2, isso devido à metodologia aplicada para sua confecção (método de krigagem), que consiste na interpolação dos valores, resultando em áreas com valores maiores e menores às medias da tabela.

A variação anual média da velocidade do vento é menor que a variação média sazonal, portanto em determinados períodos do ano, a velocidade do vento pode

não ser suficiente para o acionamento dos aerogeradores (LEITE; FALCÃO; BORGES, 2006).

Para utilizar a Equação 1, faz-se necessário conhecer a eficiência do rotor, área de varrimento das pás e a velocidade de arranque. Esse conjunto de dados está contido, nos manuais técnicos dos modelos de aerogeradores.

Segundo Terciote (2002), a eficiência do rotor pode ser entendida como, a quantidade de energia cinética do vento que pode ser convertida em energia mecânica no rotor. Salvador (2012) acrescenta que, a área de varrimento das pás ou área do rotor, é responsável pela captação da energia cinética dos ventos, posteriormente transformada em energia mecânica no rotor.

Já a velocidade de arranque do aerogerador é definida como a velocidade mínima para o aerogerador mover suas pás e gerar energia elétrica (PEREIRA, 2016). Portanto para estimar a produção de um aerogerador nas microrregiões, é necessário levantar modelos de microgeradores e minigeradores eólicos que se adequem à velocidade de arranque.

Entre os modelos levantados, apenas os aerogeradores da marca Antaris (Tabela 3), possuíam as informações necessárias e velocidade de arranque baixa o suficiente para a realização dos cálculos.

Tabela 3: Aspectos técnicos dos aerogeradores

Antaris 2.5 kW		Antaris 3.5 kW		Antaris 4.5 kW	
Eixo	Horizontal	Eixo	Horizontal	Eixo	Horizontal
Potencia nominal	2,7 kW	Potencia nominal	3.7 kW	Potencia nominal	5kW
Eficiência do rotor	92%	Eficiência do rotor	92%	Eficiência do rotor	92%
Velocidade de arranque	de 2.2 m/s	Velocidade de arranque	de 2.2 m/s	Velocidade de arranque	de 2.2 m/s
Proteção de tempestade	de 13 m/s	Proteção de tempestade	de 13 m/s	Proteção de tempestade	de 13 m/s
Diâmetro do rotor	3 metros	Diâmetro do rotor	3.5 m	Diâmetro do rotor	4 metros
Área de varrimento	7.065 m ²	Área de varrimento	12.56 m ²	Área de varrimento	12.56 m ²
Pás	3 peças	Pás	3 peças	Pás	3 peças

Utilizando a Equação 1, os valores da velocidade média do vento das microrregiões acima de 2,2 m/s (Tabela 2), os dados da eficiência do rotor e área de varrimento (Tabela 3), o valor para ar seco para a densidade do ar, tornando-se possível estimar a produção de energia elétrica dos 3 modelos de aerogeradores (Tabela 4).

Tabela 4: Estimativa da produção de energia elétrica em kW/h

1,2041		Antaris 2.5 kW	Antaris 3.5 kW	Antaris 4.5 kW
Campo mourão	2,342	50,26788	68,37532	89,36512
Cianorte	2,313	48,41776	65,86464	86,08348
Pitanga	2,218	42,69352	58,07776	75,90644
Goioerê	2,457	58,03544	78,94796	103,18352
Toledo	2,289	46,92644	63,83604	83,43204
Umuarama	2,393	53,6176	72,9376	95,32856

Nota-se o potencial da região centro oeste do Paraná para a produção de energia eólica a partir da análise do modelo de três aerogeradores. Assim, é possível perceber que, apesar da velocidade do vento a 10 metros não possuir grandes valores, é possível produzir energia eólica para complementar o consumo total da residência.

Salienta-se que a redução de até 47,2% (cenário mais otimista), possibilita conscientizar e incentivar a população para a implantação do sistema, haja visto que este poderá resultar em economia de energia elétrica, e maior custo benefício associado.

O custo por watt do sistema eólico, de acordo com Galluci (2007) pode ser até 40% menor, se comparado a energia solar em sistemas alocados em casas.

Em um estudo realizado por Parizzoto et.al. (2012) buscando analisar a viabilidade da implantação de aerogeradores em residências, verificou que a economia gerada pode alcançar R\$ 1.500,00 anuais. Dessa forma, analisando o valor atual de aerogeradores residenciais disponíveis, bem como seu custo benefício, os mesmos seriam pagos em no máximo 8 anos. Ao se considerar uma vida útil do aparelho superior a 20 anos é notável a viabilidade de sua implantação.

Porém, Bolvi e Minuci (2010), salientam a existência de aspectos negativos associados à implantação da energia eólica em residência, como o elevado custo de implantação, com tempo de retorno considerado lento e necessidade de manutenção especializada periodicamente. Além disso, há escassez de profissionais adequados, o que acarreta em custos maiores de instalação. Apesar de possuir garantia, caso algum aparelho apresente problemas nos quais acarrete em sua troca, acabam por inviabilizar a implantação.

Contudo, para solucionar os elevados investimentos, Galluci (2007) propôs um modelo de aerogerador para comunidades de baixa renda, nas quais seria possível adquiri-lo com valores de aproximadamente R\$ 2.200,00. Este projeto visava o acesso a comunidades isoladas a energia elétrica. Dessa forma, o valor do aparelho apontado pelo autor, demonstra que é possível viabilizar a energia eólica para cidades que desejam apenas complementar a fonte de energia em sua casa, pois, o tempo de retorno de investimento seria satisfatório.

Assim, faz-se necessário maiores investimentos e subsídios em pesquisas que busquem viabilizar e proporcionar custo benefício satisfatório, aumentando a atratividade destes sistemas híbridos, que busquem, consorciadamente com a hídrica, maior sustentabilidade da matriz energética nacional.

Por possuir uma matriz predominantemente renovável, o Brasil demorou a aderir a outros sistemas limpos, tais como a eólica. Esta energia foi inserida recentemente, sendo incentivada principalmente pelo aumento da demanda em energias térmicas, e a dificuldade de obtenção de licenciamento ambiental para novas usinas hidroelétricas (ANEEL, 2008).

Apesar dos prováveis benefícios associados à instalação de aerogeradores no país, sua ausência, de acordo com Dantas e Leite (2009) condizem com o eventual impacto que o elevado fornecimento de energia eólica pode causar no nível tarifário brasileiro. Ao se basear na mensuração dos custos a Aneel, por meio do Índice Custo Benefício de Empreendimentos de Geração (2007), é possível notar que os valores da produção de energia eólica possuem maior relação custo/energia gerada em comparação a outras fontes.

Além disso, custos logísticos para implementação, número restrito de ofertantes nacionais de aerogeradores, restrições de importação dos equipamentos elevam os custos do investimento. Quando importados, as taxas e o fato do BNDES apenas fornecer financiamento a fabricantes nacionais, justificam os valores associados (DANTAS, LEITE; 2009).

De acordo com Costa, Casoti e Azevedo (2009) para empresas participarem do PROINFA, é necessário um índice de nacionalização, o que diminui a concorrência e dificulta o cumprimento dos prazos do programa, haja visto que as empresas especializadas no país, não possuem capacidade suficiente para a produção da demanda necessária que vise cumprir as metas de implantação de parques eólicos, previstos no programa.

Castro et al (2010) salientam que os custos associados a projetos eólicos nos Estados Unidos situam-se em aproximadamente US\$ 1.900,00 por kW. Na Alemanha, este valor alcança US\$ 2.000,00. Já no Brasil, estudos indicam que os investimentos necessários seriam de aproximadamente US\$ 3.000,00, por kW instalado.

O Brasil, até o ano de 2009, possuía somente dois fabricantes com unidades produtivas, prevalecendo até aquele momento restrições para a importação de equipamentos. Com isso, pode-se supor que o maior custo da energia eólica no Brasil está associada as condições de oferta de aerogeradores (CASTRO et al, 2010).

Segundo o Banco de Informações de Geração (2015) disponibilizado pela ANEEL, há atualmente 273 usinas de geração eólica em funcionamento no Brasil e 159 usinas em construção, sendo 201 localizadas na região Nordeste, 69 na região Sul e 3 na região Sudeste. As regiões Nordeste e Sul destacam-se na quantidade de usinas eólicas instaladas devido as suas condições de ventos favoráveis.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2015), ocorreu a expansão de 122,0% na potência instalada para geração eólica, significando um crescimento de 2.686 MW, totalizando 4.888 MW no final de 2014, representando apenas 0.3% do potencial de geração possível no país.

Deve-se atentar o fato que, mesmo a região Sul apresentando potencial eólico, com ventos acima da média mundial, devido a sazonalidades desse sistema, limita-se sua produção energética. Uma vez que no período de menor incidência de ventos, obtém-se menor produção, pode não fazer jus ao grande investimento inicial (RAMPINELLI; JUNIOR; 2012)

Outro problema, apontado por Abramovay (2010) é a falta de incentivos por parte do governo que prefere beneficiar-se de energias inviáveis ambientalmente, tais como a térmica, quando o sistema hídrico não é o suficiente, a precaver-se com outras fontes de energia sustentáveis, tais como a eólica.

O mesmo autor salienta que um planejamento adequado e incentivos fiscais podem fazer com que o Brasil, de maneira geral, adote energias limpas, e exclua fontes térmicas de sua matriz, haja visto que estas, além de um potencial poluidor exacerbado, também acabam por aumentar a conta de energia, em épocas de escassez hídrica.

O sul destacava-se na produção de energia eólica até 2007, liderando o ranking. Contudo, a partir da estagnação dos novos empreendimentos previstos, e a inauguração de outras usinas, o nordeste assumiu a posição no Ranking (COSTA, CASOTI, AZEVEDO, 2009).

No entanto, a região sul do Brasil já possui estudos para a instalação de novas usinas eólicas, que visa diversificar a matriz energética nacional. No Paraná, destaca-se a usina de Palmas, que possui potência instalada de 2,5 MW. Ainda existem outros projetos que propõem-se a aproveitar, principalmente o potencial de ventos no litoral do Rio Grande do Sul, que de acordo com Costa, Casoti e Azevedo (2009) está em terceiro lugar no Brasil, no que tange a maior disponibilidade de ventos.

Estes dados demonstram que o sistema nacional está buscando uma diversificação de energias renováveis. Assim, é possível prever que o cenário atual poderá sofrer mudanças significativas, principalmente no que tange a maior inserção de energia eólica em sua matriz energética.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que a microgeração e minigeração eólica no estado do Paraná é possível e viável, porém para sua implementação, faz-se necessário o estudo local das velocidades de vento para melhor entendimento, já que as velocidades de vento presentes nos resultados compõem uma aproximação podendo não condizer a atual situação de uma determinada área.

Vale ressaltar, que os dados utilizados da velocidade de vento, são provenientes de estações meteorológicas, estas podem estar localizadas em regiões com condições diversas, podendo não retratar o real panorama da microrregião.

A gama de aerogeradores no mercado brasileiro, para microgeração e minigeração eólica, é extremamente pequena, e em sua maior parte composta de produtos importados, elevando os custos e dificultando a aquisição de crédito.

Apesar do grande potencial eólico, apenas os incentivos fiscais para a utilização dos aerogeradores nacionais não bastam, haja visto que o atual panorama destas indústrias permanecerá inalterado. Assim necessita-se de melhores estímulos e programas que possibilitem o aumento da qualidade e produção dos aerogeradores brasileiros.

Além disso, ressalta-se a importância de maior investimento em estudos que possibilitem o aproveitamento de energia eólica com menor valor agregado a implantação destes equipamentos, tornando esta prática viável economicamente.

Portanto são necessários novos estudos com maior quantidade e variedade da distribuição de dados, com objetivo de estudar as condições de ventos de cada microrregião separadamente.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 87, p. 97-113, 2010.

ALDABÓ, R. **Energia Eólica**. São Paulo: Artliber editora, 2002.

ALMEIDA, Joana Santiago Pereira de. **Impacto na fiabilidade do sistema de produção da interligação de parques eólicos na rede**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores). Universidade do Porto, 2008.

ALVES, J. J. A. **Estimativa da Potência, Perspectiva e Sustentabilidade da Energia Eólica no Estado do Ceará**. 2006. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **Lei Nº 10.438, de 26 de abril de 2002**.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**, 3ª ed. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689> Acesso em: 20 ago. 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=7&fase=3>> Acesso em 20 ago 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Índice Custo Benefício de Empreendimentos de Geração**, 2007.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas**: 1961-1990. Brasília, DF, 1992.

CASTRO, N. J. de; DANTAS, G. de A.; LEITE, A. L. da S.; GOODWARD, J. Perspectivas para a energia eólica no Brasil. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

COHEN, A.; LEPECKI, V. M. J.; HOLLANDA, J. B. de.; COSTA, J. A. de A. **GERAÇÃO DISTRIBUIÇÃO AO SISTEMA ELÉTRICO** (Proposta de da Resolução AN Revisão EEL 281/99). Instituto Nacional de Eficiência Energética Fórum de Cogeração e Geração Distribuída, 2002.

Companhia Paranaense de Energia. **Micro e Minigeração – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2015. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656#>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

COSTA, R. A. da; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. de. Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 229-277, mar. 2009.

DANTAS, G. de A.; LEITE, A. L. da S. Os custos da energia eólica brasileira. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. **Balço Energético Nacional 2007**.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; DE AGUIAR, A. V. **Relação entre altitude e temperatura: Uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná**. Revista de Estudos Ambientais, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

GALLUCCI, S. de T. PROJETO DE UM AEROGERADOR PARA ATENDER COMUNIDADES DISTANTES DA REDE ELÉTRICA. **Artigos Usp**, São Paulo - Sp, v. 1, n. 1, p.1-10, jan. 2007. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_001_2007.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

GARBE, E. A.; MELLO, R. de; TOMASELLI, I. Projeto conceitual e análise de viabilidade econômica de unidade de geração de energia elétrica eólica na Lagoa dos Patos-RS. **Economia & Energia**, v. 83, p. 24-48, 2014.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **GLOBAL Wind Energy Outlook**. Greenpeace, November 2014. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/11/GWEO_2012_lowRes.pdf> Acesso em: 22 ago. 2015.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. **XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais**, p. 342-351, 2002.

JERVELL, J. T. **Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores**. Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

LEITE, Andréa P.; FALCÃO, Djalma M.; BORGES, Carmen LT. Modelagem de usinas eólicas para estudos de confiabilidade. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, v. 17, n. 2, p. 177-188, 2006.

LOPES, G. M.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, T. H.; SOBRINHO, J. E. **Caracterização da velocidade e direção do vento em Mossoró-RN, para as quatro estações do ano**. Mossoró/RN: ESAM, 2000.

LOREDO-SOUZA, A. M.; SCHETTINI, E. B. C.; PALUCH, M. J. Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento. **Turbulência. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas-ABCM**, v. 4, p. 137-163.1, 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira - Edição de junho de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica>>

-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2> Acesso em: 20 ago. 2015.

PARIZOTTO, R. R.; NOGUEIRA, C. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; PETRÓ, É. Análise e viabilidade técnica de implantação de aerogeradores eólicos de pequeno porte em residências. **Acta Iguazu**, Cascavel - Pr, v. 1, n. 4, p.55-64, fev. 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. S. Meteorologia agrícola. Departamento de Ciências Exatas, p. 173, 2007.

PEREIRA, M. V. da R. **Impacto da altura de aerogeradores sobre a velocidade do vento, energia, efeito de esteira e intensidade de turbulência: estudos de caso em três projetos eólicos localizados no Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PINTO, A. P. F. **Projecto e Operação de parques eólicos com excedente de potência instalada**. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001.

RAMOS, F. G.; SEIDLER, N. Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos. **Revista Eletrônica de Extensão da URI**, v7, n. 13, p. 108127, 2011.

RAMPINELLI, G. A.; JUNIOR, C. G. da R. Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, p. 271-300, 2012.

RIBEIRO, C. M. F. **Circuito de Interface para Ligação de um Gerador Eólico à Rede**. 2008, 85 f. Dissertação - Universidade do Minho, Braga, 2008. Disponível em:< <http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/en/galeria/temas/pdf/38015.pdf> >. Acesso em: 22 ago. 2015.

SALVADOR, P. C. **Influência do perfil vertical de velocidades no funcionamento de um aerogerador: medições realizadas com LIDAR**. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

SANTOS, A.; RAMOS, D. S.; SANTOS, N. T. F. dos; OLIVEIRA, P. P. de. **Projeto de geração de energia eólica**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade de Santa Cecília. Santos, SP, 2006.

SILVA, G. R. **Características de Vento da Região Nordeste**. 2003, 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: < http://repositorio.ufpe.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/5432/arquivo7341_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 01 nov. 2015.

SILVA, J. C. M. **Geradores Eléctricos para Aproveitamentos de Energias Renováveis**. 2008, 136 f, Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do

Porto, Porto, 2008. Disponível em: < <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59873/2/Texto%20integral.pdf> >. Acesso em: 22 ago. 2015.

TARNOWSKI, G. C. **Metodologia de Relação da Potência Ativa para Operação de Sistemas de Geração Eólica com Aerogeradores de Velocidade Variável**. 2006, 120 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10182/000594787.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 22 ago. 2015.

TERCIOTE, R. Eficiência energética de um sistema eólico isolado. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.