

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

RICARDO GUICHO

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO DE MICRO E  
MINIGERAÇÃO DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

RICARDO GUICHO

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO DE MICRO E  
MINIGERAÇÃO DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Orientador: Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira.

Co-orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina Rodrigues Halmeman.

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO DE MICRO E  
MINIGERAÇÃO DA CIDADE DE CAMPO MOURÃO – PR.**

por

**RICARDO GUICHO**

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. RADAMES JULIANO HALMEMAN

---

Prof. Dr. EDIVANDO VITOR DO COUTO

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

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que apesar de muitas vezes, colocá-Lo no inalcançável segundo plano, mesmo que involuntariamente, nunca deixei de ser a Sua prioridade.

Agradeço a meus pais, Adriana e Carlos, os quais foram responsáveis por cada passo rumo às vitórias que venho alcançando, fontes de estímulo e dedicação aos filhos que possuem, sempre apoiando, motivando e dedicando, desde o princípio, suas energias os quais meu irmão e eu recarregamos nossas forças sempre que preciso.

Ao meu irmão Marcelo, pela compreensão e aconselhamento nos momentos de dificuldade que encontrei durante o percurso, demonstrando sua cumplicidade e dedicação ao vigor familiar.

Aos professores doutores orientadores e co-orientadores Maria Cristina Rodrigues Halmeman e José Hilário Delconte Ferreira, pelo tempo e paciência a mim dedicados e pelo espírito crítico o qual espero, ao menos em parte, ter adquirido.

Aos demais professores que contribuíram, de formas e matérias diferentes, para a finalização desta caminhada rumo a graduação do curso de Engenharia Ambiental.

Aos muitos amigos do meu dia-a-dia, que vai além da amizade, uma família que escolhemos para dividir os melhores momentos da nossa vida, amigos que fizeram parte desse crescimento pessoal e profissional que é morar sozinho, com quem aprendemos os limites mesmo quando parece não existir limites. Pessoas que fizeram parte da nossa vida acadêmica e que levarei para sempre pelo simples fato de cada um estar presente, apoiando de forma ímpar aos demais, que fez e que faz do meu dia ou noite o melhor momento, cada qual com sua particularidade: As Marias (Mami, Maca e Male) que sobreviveram e permaneceram em Campo Mourão, Natalia Stier (Meu Bem) e Guilherme Gobbi que tiveram função essencial na permanência e foram motivos de muitas risadas e choros, conquistas e superações, na maioria das vezes por motivos pessoais, Rodrigo Ramos, Guilherme Redondo, Felipe Macedo, Juliana Dovirgens, Jacqueline Carvalho, Vitor Sales e Iago Felberg, que como todo ser humano precisa do seu grupo, onde se sintam a vontade de conversar e fazer o que tem vontade sem medo de ser julgado.

Enfim, agradeço a todos aqueles que fizeram parte da minha vida e tiveram influência de cunho pessoal ou profissional para meu crescimento e concretização deste trabalho.

*“Porque as pequenas construções podem ser terminadas por seus arquitetos iniciais; as grandes, as verdadeiras, sempre deixam a pedra final para a posteridade.”*

*(Herman Melville)*

## RESUMO

GUICHO, Ricardo. **Mapeamento do potencial eólico de micro e minigeração da cidade de Campo Mourão – PR**. 2016. (41f) Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Tendo em vista a recente crise hídrica (2014-2015), os níveis dos reservatórios reduzidos e a importância da geração hidráulica na matriz elétrica brasileira aliado ao crescimento da demanda, é possível entender a necessidade da descentralização da fonte de geração. Desta forma, a busca por fontes renováveis tornou-se necessária para alcançar um desenvolvimento de forma sustentável. Considerando a evolução de implantação de grandes parques eólicos no Brasil, a geração à baixas alturas tem conquistado seu espaço nos estudos de potencialidade por todo o país, haja vista, a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica nº 482/2012, que oportuniza a micro e minigeração. A análise do potencial eólico da cidade de Campo Mourão - PR, foi realizado a partir dos dados obtidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que é gerenciado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, em uma série histórica de 36 anos compreendida entre 1980-2015. Com estes dados foi possível identificar a normal climatológica da cidade que possui a predominância de ventos provindos do Leste (E), com velocidade média de  $2,49 \text{ m.s}^{-1}$ , e com o desvio padrão de 0,43 foi possível identificar a velocidade mínima média e a velocidade máxima média que foram respectivamente de  $2,05 \text{ m.s}^{-1}$  e  $2,92 \text{ m.s}^{-1}$ . Para o estudo da imagem de satélite foi utilizado o aplicativo SAS PLANET, com navegação pelo *Bing Maps*, para a coleta da imagem da área urbana do município de Campo Mourão, enquanto com o *software QGIS 2.14* foi possível classificar o fator de rugosidade, à nível de quadra. Foram gerados 12 mapas temáticos pelo *software QGIS 2.14* apresentando o potencial eólico em diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 metros) para as 3 (três) velocidades encontradas (mínima média, média e máxima média), além do mapa de altura dos obstáculos. Os resultados de potência atingiram uma faixa de 00 a 45 Watts, onde a relação da altura dos aerogeradores e a potência encontrada, caracterizam uma proporcionalidade, ou seja, quanto mais alto o aerogerador está, maior será a potência estimada. Esta proporcionalidade é encontrada também quando comparado a região central da periferia da cidade, quanto mais central a área menor o potencial estimado, tendo em vista a altura dos obstáculos, caracterizados principalmente pela verticalização da cidade em questão, onde ficam concentrados o maior número de edifícios do município.

**Palavras-chave:** Potencial eólico, urbana, mapeamento, Watts, velocidade do vento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área urbana no município de Campo Mourão – PR.....	18
Figura 2 - Fluxograma metodológico para a análise do potencial eólico de micro e minigeração no município de Campo Mourão – PR. ....	19
Figura 3 - Gráfico da velocidade do vento em relação a altura. ....	25
Figura 4 - Altura dos obstáculos identificados por imagem de satélite da cidade de Campo Mourão - PR. ....	27
Figura 5 - Estatística das alturas dos obstáculos encontrados no município de Campo Mourão - PR. ....	28
Figura 6 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 10 metros de altura....	30
Figura 7 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 20 metros de altura....	31
Figura 8 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 30 metros de altura....	31
Figura 9 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 40 metros de altura....	32
Figura 10 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 10 metros de altura.....	33
Figura 11 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 20 metros de altura.....	33
Figura 12 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 30 metros de altura.....	34
Figura 13 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 40 metros de altura.....	34
Figura 14 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 10 metros de altura.....	35
Figura 15 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 20 metros de altura.....	36
Figura 16 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 30 metros de altura.....	36
Figura 17 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 40 metros de altura.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes para determinação da velocidade do vento para diferentes alturas e diferentes terrenos.....	21
Tabela 2 - Normal climatológica da série histórica de 1980 à 2015 da cidade de Campo Mourão - PR. ....	23
Tabela 3 - Estatística descritiva mensal da série histórica (1980 – 2015) da cidade de Campo Mourão - PR. ....	24
Tabela 4 - Velocidades estimadas de acordo com as diferentes alturas e fatores de rugosidade da cidade de Campo Mourão - PR.....	25
Tabela 5 - Análise numérica das classes de altura identificadas no município de Campo Mourão - PR. ....	27
Tabela 6 - Especificações técnicas dos aerogeradores utilizados para o cálculo da potência eólica de Campo Mourão - PR. ....	29
Tabela 7 - Potências estimadas pelo aerogerador Air 40, com rotor de 1,17 metros de diâmetro.....	29



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	12
3.1 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA .....	12
3.2 ENERGIA EÓLICA .....	12
3.3 TURBINAS EÓLICAS .....	15
3.4 MICRO E MINIGERAÇÃO .....	16
3.4.1 Geração distribuída.....	16
3.5 POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ .....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	18
4.2 METODOLOGIA.....	19
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
5.1 NORMAL CLIMATOLÓGICA .....	23
5.2 VELOCIDADE DO VENTO .....	24
5.3 ALTURAS DOS OBSTÁCULOS .....	26
5.4 POTÊNCIA EÓLICA.....	29
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41
<b>APÊNDICE A – EDIFICAÇÕES COM MAIS DE 10 METROS DE ALTURA</b> .....	45
<b>APÊNDICE B – ALGORITMO CRIADO PARA O MAPEAMENTO</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é alicerçada principalmente na geração hidráulica, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (2015) foi responsável por 65,2% de toda geração em 2014. Porém Almeida e Benassi (2015) alertam que a escassez hídrica que tradicionalmente atingia a região Nordeste do Brasil, passou a atingir também a região Sudeste nos últimos anos (2014-2015), e comentam que desde 2013 tem os níveis dos seus reservatórios reduzidos.

A crise hídrica interfere não apenas na esfera regional como também na esfera nacional, porém a micro e minigeração distribuída segundo Vergílio (2012), agindo como reserva descentralizada pode ajudar a ramificar a geração de energia elétrica e suprir as necessidades como: excesso de demanda de ponta, cobertura de apagões e melhoria das condições qualitativas do fornecimento em regiões com déficit de atendimento.

Para minimizar as barreiras para a conexão das pequenas centrais geradoras na rede de distribuição, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482/2012, modificada pela 687/2015. Conforme disposto nesta normativa, a micro e minigeração distribuída (até 75 quilowatt (kW) e entre 75 quilowatts (kW) a 5 megawatt (MW), respectivamente) consiste na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que se utilizam de fontes renováveis (hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada) conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (RESOLUÇÃO NORMATIVA DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 687 DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

Dentre as fontes renováveis citadas pela normativa, uma aplicação que vem se destacando como fonte alternativa de energia para a produção de eletricidade é o aproveitamento de tecnologias para a energia eólica. Este sistema de conversão acontece a partir da movimentação das massas de ar atmosféricas, que são causadas pelo aquecimento da superfície terrestre pelos raios solares, onde aproveita-se a energia cinética dos ventos para movimentar turbinas eólicas, que por sua vez movimentarão os geradores de energia elétrica (MIYASHIRO et al. 2013).

O estudo do potencial eólico no Paraná se iniciou em 1994 com iniciativa da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), com intuito de identificar áreas com melhores condições de exploração dos ventos a grandes alturas como 50, 75 e 100 metros. Contrariando

as expectativas, os mapas gerados sinalizaram que as áreas mais propícias não eram as regiões litorâneas e sim aquelas com maior altitude como o município de Palmas, resultando na primeira usina eólica do sul do país (CAMARGO, 2005).

Os estudos apresentados no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro foram importantes para o conhecimento na implantação de grandes parques eólicos. Porém Cruz (2015) explica que as alturas de interesse para micro e minigeração ficam entre 10 e 40 metros, portanto o Atlas não se aplica a esta classe de geração de energia elétrica. Cita ainda, o trabalho de Giannini et al. (2013) dizendo que o potencial brasileiro para aproveitamento eólico em pequenos aerogeradores ainda não é totalmente conhecido, e que este fator se dá pela ausência de um Atlas Eólico específico.

Considerando a importância citada sobre o tema, este projeto de pesquisa tem como proposta um mapeamento do potencial eólico de micro e minigeração de energia na área urbana do município de Campo Mourão - PR. Espera-se que os resultados obtidos nas análises e a metodologia utilizada contribuam para a disseminação das vantagens e auxiliem na implantação de pequenas centrais geradoras eólicas pelo município e estado, disponibilizando dados importantes já que não existem estudos relacionados ao tema na área de estudo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Mapear o potencial eólico para micro e minigeração na cidade de Campo Mourão - PR.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De acordo com o objetivo geral, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir uma normal climatológica da velocidade de ventos para o município de Campo Mourão considerando uma série histórica do INMET, compreendido entre os anos de 1980 a 2015;
- Estimar a velocidade dos ventos para alturas de 10 a 40 metros, verificando a velocidade do vento de acordo com o fator de rugosidade do terreno;
- Verificar a potência média do vento local em Watts (W), considerando um modelo de aerogerador para micro e outro para minigeração;
- Gerar um mapa de compartimentação da cidade em classes, diferenciadas pela altura das construções;
- Mapear a cidade de acordo com as diferentes faixas de geração;

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

De acordo com o Banco de Informações de Geração (BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO, 2016) da Agência Nacional de Energia Elétrica, o Brasil possui um total de 4.496 empreendimentos em operação, totalizando 142.556.603 kW de potência instalada.

Ainda de acordo com BIG (2016), a matriz energética brasileira pode ser subdividida com relação na sua forma de obtenção de energia elétrica, sendo eles: Central Geradora Hidrelétrica (CGH), Pequena Central Hidrelétrica (PCH), Usina Hidrelétrica (UHE), Central Geradora Eólica (EOL), Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV), Usina Termelétrica (UTE) e Usina Termonuclear (UTN).

A geração de energia a partir de fontes renováveis possui grande destaque na matriz energética, visto que Martins (2008) apresenta essas fontes como a principal alternativa para suprir a demanda da sociedade com relação à qualidade da demanda de eletricidade com a redução de danos ambientais resultante do consumo de energia.

Em 2014, segundo o relatório do Balanço Energético Nacional – BEN, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo com 39,4% onde a média Mundial é de 13,2%. Já na participação de renováveis especificamente na Matriz Elétrica Brasileira, houve uma pequena queda da porcentagem, com relação a 2013, devido às condições hidrológicas desfavoráveis e ao aumento da geração térmica, mas ainda assim o Brasil possui 74,6% de toda a geração de energia elétrica, acima da média mundial que possui 21,2% (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2015).

#### 3.2 ENERGIA EÓLICA

Dentre as fontes renováveis de obtenção de energia elétrica no Brasil, a geração a partir dos ventos tem sido motivo de pesquisas avançadas com intuito de implantação de parques eólicos. Esta informação pode ser comprovada pelo número de empreendimentos em

construção, totalizando 220 em toda a matriz energética, sendo 148 empreendimentos apenas para centrais geradoras eólicas, ou seja, 67,27% das construções para geração de energia no país. Existem ainda, 249 com construção ainda não iniciada, totalizando 397 novos empreendimentos eólicos futuramente (BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO, 2016).

Apesar dos investimentos em constante crescimento e do potencial eólico que o Brasil possui, sua participação na matriz elétrica ainda é muito baixa, hoje está representada por aproximadamente 2,0% da geração de energia elétrica nacional (BEN, 2015).

A denominação “vento” é comumente aplicada apenas ao movimento paralelo à superfície do planeta, embora o ar possa se movimentar verticalmente (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2007).

O vento é o responsável pela geração de energia eólica. Esse movimento de gases e partículas é proporcionado pelo aquecimento da superfície terrestre nas regiões no entorno da linha do Equador e também, pelo resfriamento da mesma nas regiões adjuntas aos polos (ALBADÓ, 2002). Segundo Amaral (2011), o ar aquecido se torna mais leve e menos denso e, por isso, desloca-se em direção aos polos. Estas regiões submetem o ar a um processo de resfriamento, impulsionando-o para regiões mais baixas.

Além de amenizar a temperatura extrema ao redor da Terra, o movimento de ar das camadas atmosféricas mais baixas são acessíveis para a conversão em energia eólica. Porém, Martins, Guarnieri e Pereira (2007) afirmam que o relevo e a presença de obstáculos moldam o escoamento do ar sobre a superfície terrestre, bem como geram turbulências no fluxo. O movimento de rotação da Terra também influencia na intensidade e direção dos ventos (ALBADÓ, 2002).

Castro et al. (2010) afirma que a fonte de energia eólica e o regime hídrico estão fortemente relacionados, visto que os ventos se apresentam de maneira mais intensa e regulares no período seco do ano. Este fator pode ser importante justificativa para que a energia eólica seja uma fonte de geração que complemente a hídrica em sua escassez.

Para que a conversão da energia cinética dos ventos seja transformada em energia mecânica e posteriormente em elétrica pelos aerogeradores da maneira eficiente, alguns fatores precisam ser analisados, visto que influenciam diretamente na quantidade de kW gerados. Sabe-se que a velocidade do vento não é uma constante, visto que são dependentes de fatores climáticos, pode portanto variar significativamente em curtas distâncias (algumas centenas de metros), devem levar em consideração os parâmetros regionais que influenciam

nas condições do vento. Entre os principais fatores, o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB (2008) destaca:

- A variação da velocidade com a altura;
- A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, uso da terra e construções;
- Presença de obstáculos nas redondezas;
- Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

Tendo em vista a influência destes fatores, o estudo para a implantação de parques eólicos de grandes gerações é fundamental para que o projeto seja economicamente viável. Não exclui, porém, a sua importância para os micros e minigeradores mesmo representando 1,2% da potência total dos projetos participantes da Resolução nº 482/2012. Esses projetos são de pequeno porte para a geração descentralizada e representa um mercado embrionário, porém com grande potencial de crescimento (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA DE SALVO BRITO, 2008).

A demanda de energia é crescente e aliado a constatações das emissões de gases poluentes, oriundas das fontes de geração, criando pressão sobre os países para que haja evolução em suas infraestruturas de energia (CRUZ, 2015). Como a utilização da eletricidade está ligada a todas as atividades humanas e que no Brasil, apesar de sua fonte primária ser renovável, o recurso hídrico obteve uma crise como pode ser evidenciado segundo estudo de Galvão e Bermann (2015), afirmando que no Sudeste a crise foi reveladora das insuficiências do uso múltiplo das águas e mostrou a necessidade de se abandonar o caráter prioritário com que a geração de energia foi historicamente se construindo.

Nestas condições Cruz (2015), expõe que a micro e a minigeração representa uma possível solução para complementar o fornecimento de energia elétrica, gerando a energia próxima ao local de consumo através de fontes renováveis, entre elas a utilização da força dos ventos.

### 3.3 TURBINAS EÓLICAS

Para converter a energia cinética do vento em energia elétrica, faz-se necessário o uso de turbinas eólicas ou aerogeradores, que são utilizados para realizarem a conversão de energia cinética, advinda dos ventos, em energia elétrica (MOREIRA, 2010). Esses equipamentos, geralmente se apresentam de forma horizontal ou vertical.

Os rotores de eixo vertical são dispostos perpendicularmente ao solo e, em geral, não necessitam de mecanismos de acompanhamento para a variação do vento, reduzindo a complexidade do projeto. Outra vantagem é a possibilidade de alocação do gerador e da caixa de velocidades no solo, sendo dispensável a construção da torre (SANTOS et al., 2006). De acordo com Moreira (2010), nesse modelo, velocidades baixas ao nível do solo, o que exige a utilização de espias de suporte, que aumenta a área de ocupação, além da realização de um arranque forçado. É indispensável desmontar toda a turbina em caso de manutenção, o que justifica a baixa produção desse tipo de rotor.

Os rotores de eixo horizontal apresentam eficiência superior quando comparados aos de eixo vertical. Esse exemplar é montado paralelamente ao solo e exige mecanismos que permita seu reposicionamento na direção dos ventos para melhor aproveitamento energético. Ocupa pouco espaço terrestre, devido ao posicionamento das hélices ser suspenso por uma torre, o que permite estar propício a ventos de maior velocidade (COSTA; CASOTTI; AZEVEDO, 2009).

Em relação à posição do rotor na torre, o disco varrido pelas pás pode estar a montante do vento (upwind), no qual o vento incide na área de varredura do rotor pela frente da turbina ou a jusante do vento (downwind), no qual o vento incide na área de varredura do rotor por trás da turbina eólica (MARQUES, 2004). O autor ainda enfatiza que, para turbinas eólicas de pequena escala, a segunda configuração é a mais adequada, devido a flexibilidade do rotor durante fortes rajadas de vento, o que possibilita a colisão das pás contra a torre, além de gerar ruídos.

Santos et al. (2006) assegura que os rotores mais utilizados para a geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice composto, normalmente, por 3 pás. Os autores destacam que é clara a contribuição das turbinas eólicas para a geração de quantidades significativas de energia. No entanto, a quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento



depende, de forma geral, da densidade do ar, área de varrimento do rotor e distribuição da pressão no rotor.

### 3.4 MICRO E MINIGERAÇÃO

A definição de micro e minigerações está exposta na Resolução Normativa da Aneel nº 687 de 24.11.2015, que altera o art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigerações distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, definindo a microgeração distribuída como sendo uma

“central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras”

Fonte: REN nº 687 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015, p.1)

E define também a minigeração com sendo uma

“central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras”.

Fonte: REN nº 687 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015, p.1)

#### 3.4.1 Geração distribuída

A geração distribuída citada no *caput* do artigo da Normativa Regulamentadora é definida pelo Ministério de Minas e Energia - MME, Empresa de Pesquisa Energética – EPE (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA E EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014), como a geração de energia, incluindo eletricidade e outros energéticos, localizada próxima ao consumidor final, onde a instalação tem por objetivo principal o atendimento prioritário as suas necessidades, podendo ou não gerar excedentes energéticos comercializáveis para além das instalações do consumidor.

Para Cruz (2015, p.106), “para as aplicações de pequeno porte, as alturas de interesse ficam entre 10 e 40 metros”, porém fatores de interferência podem prejudicar o fluxo e velocidade dos ventos, sendo importante uma análise de locais com potencialidade e condições ambientais favoráveis para sua implantação.

No Brasil, a implementação da mini e microgeração distribuída traz grandes vantagens podendo citar, a redução de perdas, a menor necessidade de grandes projetos de geração, além, de maiores oportunidades de participação dos consumidores no atendimento à demanda, entretanto, essa forma de geração pode apresentar problemas técnicos e econômicos que precisam ser bem equacionados e resolvidos para permitir um crescimento adequado desse tipo de geração (FALCÃO, 2013).

Nesse contexto, o papel das distribuidoras na ampliação da penetração da micro e minigeração distribuída de modo geral, é fundamental, pois enquanto não houver a contemplação dos potenciais impactos e riscos para as distribuidoras, dificilmente haverá interesse desses agentes em estimular a geração distribuída entre as bases de consumidores (FREITAS e HOLANDA, 2015).

### 3.5 POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ

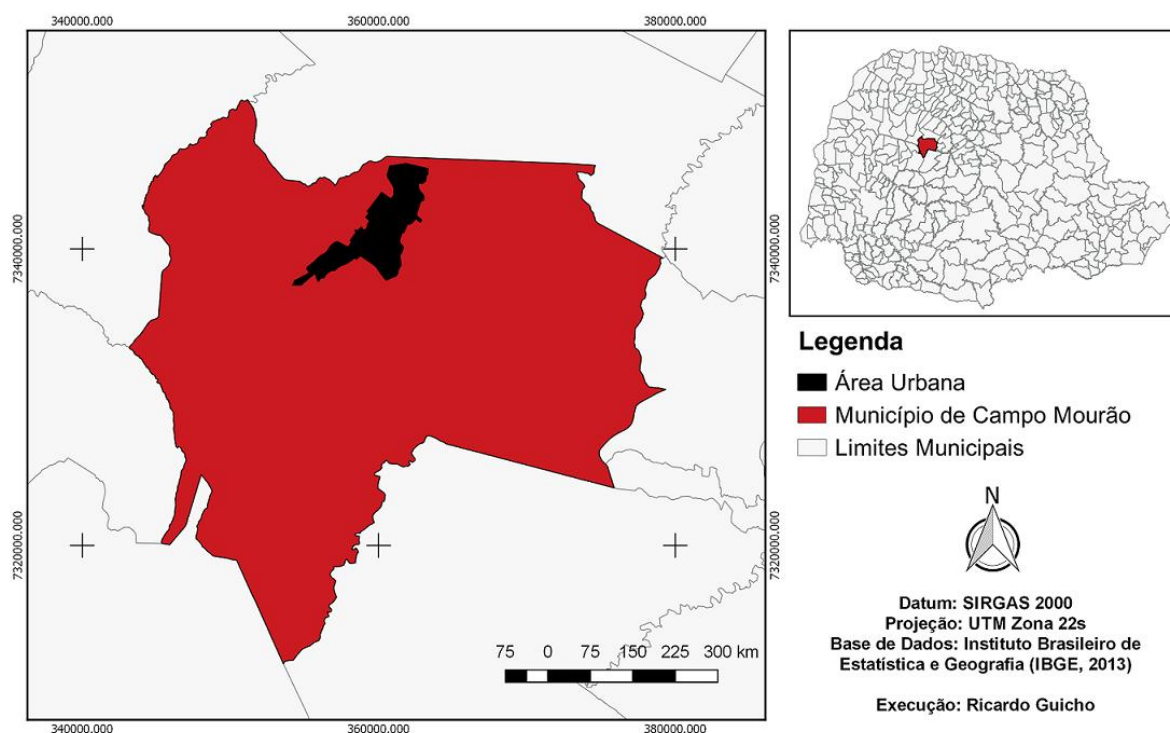
De acordo com o mapa de Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001), a região que mais apresenta condições favoráveis para implantação é o Nordeste com potência estimada de 75 GW, em seguida está o Sudeste com 29,7 GW, em 3º lugar está o Sul com 22,8 GW e por fim a região Norte com 12,8 GW. Estes dados são estimados com relação a uma velocidade média de 7 m/s a 50 metros de altura, ou seja, as informações não podem ser aplicadas para empreendimentos de pequeno porte.

As unidades de micro e minigeração necessitam de estudos que estejam relacionadas às alturas entre 10 e 40 metros, para o conhecimento dos ganhos que suas atividades podem desenvolver numa região local, e por consequência no âmbito nacional além do benefício financeiro, porém ainda não há estudos de mapeamento do potencial eólico para micro e minigerações, mesmo dada a importância da aplicação dessas unidades geradoras de pequeno porte. Este fator pode ser a resposta do baixo índice de projetos de implantação de micro e minigeração.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido no município de Campo Mourão – PR (Figura 1) que se encontra localizado na mesorregião do Centro Ocidental Paranaense com latitude 24°02'44”S, longitude 52°22'59”W e altitude de 585 metros. Está limitado ao norte pelo município de Peabiru, a nordeste por Barbosa Ferraz, ao sul por Luiziana, a leste por Corumbataí do Sul, a oeste por Farol, ao sudoeste por Mamborê e a noroeste pelo município de Araruna (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2016).



**Figura 1 - Localização da área urbana no município de Campo Mourão – PR.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A Mesorregião Centro-Ocidental paranaense corresponde ao que se denomina COMCAM – Comunidade dos Municípios de Campo Mourão. De acordo com o Diagnóstico da Região COMCAM (2013), toda a sua extensão territorial está localizada no Terceiro Planalto do Paraná.

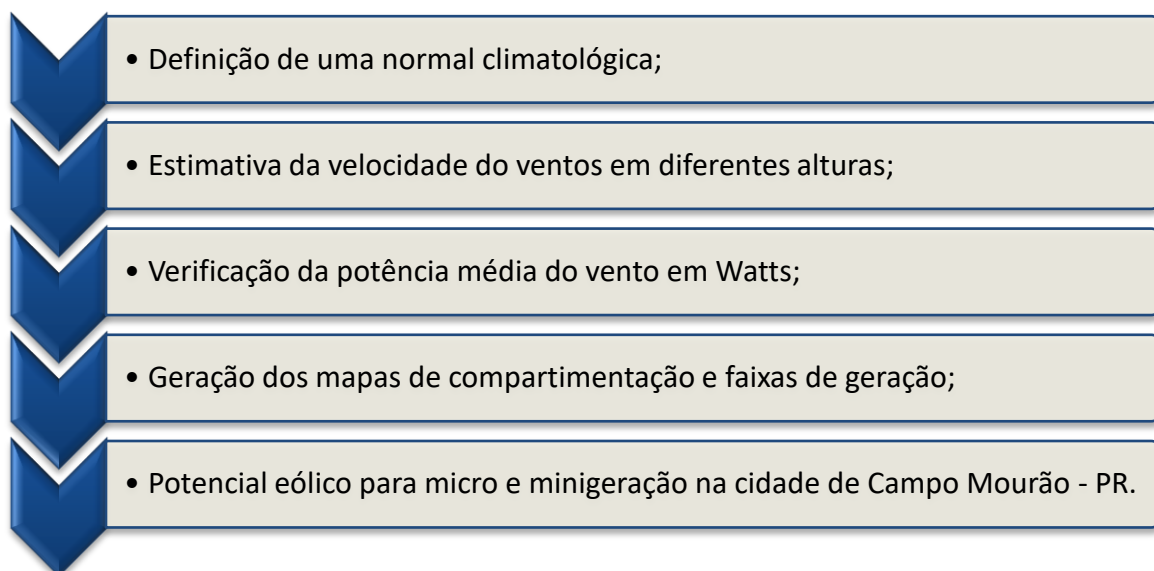
Campo Mourão está inserido em um tipo climático definido como Cfa – Clima mesotérmico subtropical, caracterizado por verões quentes onde o trimestre mais quente

(dezembro, janeiro e fevereiro) possui média de 26-28°C, com concentração de chuvas no período de verão e seca no período de inverno e pouca frequência de geadas, possuindo o trimestre mais frio (junho, julho e agosto) com temperaturas média de 15-17°C. A média anual de temperatura para o município fica definida como 20-21°C (CAVIGLIONE et al., 2000).

O município é essencialmente agrícola, sendo grande produtora de grãos. Segundo o IPARDES (2016) os principais produtos cultivados são a soja com 53.500 ha, seguido do trigo com 14.000 ha e por fim o milho com 11.600 ha de plantação mecanizada, ou seja, possuem terreno suave ou suave/ondulado, definido pela EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1979) uma declividade de 0 a 8%.

#### 4.2 METODOLOGIA

Para analisar o potencial eólico para micro e minigeração no município de Campo Mourão, serão consideradas as etapas descritas no fluxograma metodológico conforme a Figura 2.



**Figura 2 - Fluxograma metodológico para a análise do potencial eólico de micro e minigeração no município de Campo Mourão – PR.**

Para a estruturação do perfil histórico médio dos ventos, realizou-se a coleta dos dados da série histórica de 36 anos (1980-2015), após um cadastro, no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que é gerenciado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Ato seguinte à coleta, foi necessária a organização em planilha eletrônica para auxiliar nas análises da estatística descritiva e ter o entendimento das médias anuais, desvio padrão e moda para a direção dos ventos.

As informações adquiridas nestas análises foram fundamentais para o conhecimento das características locais do principal fator do mecanismo de geração elétrica, o vento. Estes resultados serviram de embasamento para a realização da fase subsequente, que definiu a velocidade média em diferentes alturas, pertinentes a micro e minigeração, a partir da altura conhecida.

Para a determinação da melhor altura de implantação dos aerogeradores, foi necessário o conhecimento das velocidades médias de vento. Como a micro e minigeração se enquadra numa faixa entre 10 e 40 metros de altura, as velocidades serão analisadas em diferentes alturas para a definição da melhor escolha.

É importante frisar que os dados de vento disponibilizados, são normalmente coletados em estações meteorológicas localizadas em espaços abertos, longe da rugosidade da cidade. Por este motivo, é essencial a correção dos valores para áreas urbanas ou com fator de rugosidade maior.

De acordo com a Nota Técnica nº 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que rege sobre a Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET, a medição da velocidade do vento, entre outras, nas estações acontece numa altura de 10 metros do solo. Este valor deve ser corrigido conforme a altura de influência do obstáculo do aerogerador, ou seja das construções.

Para a correção da velocidade do vento utilizou-se a metodologia defendida por Bittencourt e Cândido (2006), que aplica esta fórmula para estimar a velocidade do vento na altura das aberturas de edificações. Esta fórmula é normalmente utilizada em projetos arquitetônicos com o intuito de estimar o aproveitamento da ventilação natural em construções. Esta metodologia foi escolhida, devido ao resultado de velocidade média, levando em consideração o comportamento do vento em contato com os obstáculos.

De acordo com Bittencourt e Cândido (2006), a equação que corrige a velocidade do vento nas aberturas é a seguinte:

$$\frac{V}{V_m} = k * z^a \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

V: velocidade média do vento (m/s) na altura desejada;

V<sub>m</sub>: velocidade média do vento (m/s) na estação meteorológica a 10 metros de altura;

k, a: coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno (Tabela 1);

z: altura desejada.

**Tabela 1 - Coeficientes para determinação da velocidade do vento para diferentes alturas e diferentes terrenos.**

Localização da Edificação	k	a
Campo Aberto Plano	0,68	0,17
Campo com Algumas Barreiras	0,52	0,20
Ambiente Urbano	0,35	0,25
Centro da Cidade	0,21	0,33

Para o conhecimento da velocidade média dos ventos em uma nova altura, é necessário conhecer a altura das edificações inseridas na área urbana. Para tanto, foi utilizado o aplicativo SAS PLANET, com navegação pelo *Bing Maps*, para a coleta da imagem da área urbana do município de Campo Mourão – PR, identificando portanto as altas edificações de acordo com a sombra projetada pela incidência do Sol no momento da imagem de satélite. Além de ser uma ferramenta gratuita, ainda possibilita a navegação *offline*, uma função que permite acessar uma base de mapas em cache quando o operador encontra-se distante do acesso a internet.

Para a identificação dos edifícios utilizou-se o *software Google Earth* no modo *Street View*, onde foi possível identificar o prédio e estimar a quantidade de pavimentos de cada edifício, logo após fez-se necessária visita *in loco* para a comprovação do número de pavimentos existentes na edificação (Apêndice A).

A imagem obtida foi utilizada no *software QGIS 2.14*, onde foi possível classificar, à nível de quadra, de acordo com a metodologia defendida por Bittencourt e Cândido (2006), elencado na Tabela 1.

De acordo com as velocidades dos ventos estimados pela fórmula e o fator de rugosidade do terreno definido, pôde-se realizar a escolha dos aerogeradores que melhor se encaixam com as situações meteorológicas e urbanísticas caracterizadas na área. A escolha do

aerogerador deve levar em consideração os dados analisados até o momento, ou seja, pela configuração geral do sistema eólico, aliado com o tipo de aplicação e potência esperada.

Para definir a potência média do vento local em Watts (W), Amaral (2011) levou em consideração a densidade do ar ( $\rho$ ), a área de varredura do rotor (A) e o deslocamento de uma massa de ar (m) a uma velocidade ( $v_1$ ) utilizou-se da seguinte equação:

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v_1^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde  $t$  representa o tempo. Para tanto, o fluxo de massa que atravessa as pás do rotor é dado por:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot v_1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Substitui-se a Equação 3 na Equação 2, e a potência mecânica disponível no vento irá variar com o cubo da velocidade e pode ser dada pela Equação (4):

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$P_v$ : Potência média do vento em Watts (W);

$\rho$ : Densidade do ar seco = 1,225 Kg/m<sup>3</sup>;

A: Área de varredura do rotor (m<sup>2</sup>);

$v_1$ : Velocidade média do vento (m/s).

Com o término das correlações entre os dados obtidos, elaborou-se linhas de programação no Programa Legal (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do *Spring 5.3* (Apêndice B), que será essencial na ligação da classificação realizada com o fator de rugosidade do terreno e a equação, este cruzamento de dados será capaz de gerar mapas temáticos da cidade de Campo Mourão – PR, compartimentando-a em classes, diferenciadas tanto pela altura das construções quanto de acordo com as diferentes faixas de geração, confeccionadas no software *QGis 2.14*.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados primeiramente pela normal climatológica a partir da série histórica estudada, posteriormente pelas velocidades do vento (máximo, médio e mínimo), em seguida pelos mapeamentos de compartimentação da cidade em classes, diferenciadas pela altura das construções, logo após são apresentadas as potencialidades eólicas de acordo com as alturas estudadas (10, 20, 30 e 40 metros) e por fim são demonstrados os mapas de potencial eólico local, simulado com um aerogerador de microgeração, modelo Air 40. A simulação com o aerogerador de minigeração não foi realizado devido a alta velocidade necessária para iniciar sua geração e a baixa velocidade do vento identificado na cidade.

### 5.1 NORMAL CLIMATOLÓGICA

Os cálculos estatísticos para a identificação da normal climatológica, de acordo com a série histórica de 36 anos definida entre 1980 à 2015, resultaram na velocidade média total, assim como seu desvio padrão médio, os limites superiores (velocidade máxima média) e inferiores (velocidade mínima média) e a predominância da direção dos ventos (Tabela 2) na cidade de Campo Mourão – PR.

**Tabela 2 - Normal climatológica da série histórica de 1980 à 2015 da cidade de Campo Mourão - PR.**

<b>Parâmetros Climatológicos</b>	<b>Valores</b>
Velocidade média total da série histórica	2,49 m.s <sup>-1</sup>
Desvio Padrão médio	0,43
Velocidade mínima média	2,05 m.s <sup>-1</sup>
Velocidade máxima média	2,92 m.s <sup>-1</sup>
Predominância da direção dos ventos	90°

De acordo com o livro Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), a direção predominante do vento no município de Campo Mourão – PR decorre de Leste (E). Para Schenekember (2010 apud SILVEIRA, ALVES e MURARA, 2014), convencionou-se expor a direção de onde provém o vento e não para onde o vento sopra, sendo indicada pelos graus a partir do norte geográfico, em sentido horário, de forma que o vento proveniente do Leste (E) terá a direção de 90°, resultado obtido



nas análises estatísticas realizadas com os dados da série histórica de 1980-2015, coerentes com o resultado exposto no livro.

## 5.2 VELOCIDADE DO VENTO

Levando em consideração as análises estatísticas realizadas para identificar a normal climatológica da cidade de Campo Mourão – PR, obteve-se dados mensais de velocidades médias, os valores de desvio padrão e então, os valores de máximos e mínimos conforme mostra a Tabela 3.

**Tabela 3 - Estatística descritiva mensal da série histórica (1980 – 2015) da cidade de Campo Mourão - PR.**

Meses	Velocidades Médias (m/s)	Desvio Padrão	Velocidades Máximas (m/s)	Velocidades Mínimas (m/s)
Janeiro	2,33	0.42	2.74	1.91
Fevereiro	2,28	0.39	2.67	1.88
Março	2,45	0.47	2.92	1.98
Abril	2,48	0.41	2.89	2.07
Maio	2,30	0.42	2.72	1.88
Junho	2,25	0.34	2.59	1.90
Julho	2,43	0.40	2.84	2.03
Agosto	2,55	0.44	2.99	2.11
Setembro	2,83	0.44	3.27	2.39
Outubro	2,79	0.57	3.36	2.21
Novembro	2,71	0.50	3.21	2.21
Dezembro	2,46	0.40	2.86	2.06

De acordo com a tabela 3, pode-se observar que em velocidade média, os dois valores extremos são:  $2,83 \text{ m.s}^{-1}$  como o maior valor sendo referente ao mês de Setembro e  $2,25 \text{ m.s}^{-1}$  como o menor valor, correspondente ao mês de Junho.

Já os valores extremos da velocidade máxima são:  $3,36 \text{ m.s}^{-1}$  como o maior valor sendo referente ao mês de Outubro e  $2,59 \text{ m.s}^{-1}$  como menor valor, correspondente ao mês de Junho. E por fim, os valores de velocidade mínima são:  $2,39 \text{ m.s}^{-1}$  como o maior valor sendo referente ao mês de Setembro e  $1,88 \text{ m.s}^{-1}$  como o menor valor, correspondente aos meses de Maio e Fevereiro.

Todos os dados possuem a mesma característica, onde os maiores valores de velocidade (máxima, média e mínima) possuem desvio padrão maiores que os de menor valor. De acordo com o trabalho de Moraes (2005) que ressalta a definição de desvio padrão como

sendo “[...] uma medida que só pode assumir valores não negativos e quanto maior for, maior será a dispersão dos dados.”, caracteriza portanto, que os maiores valores possuem uma variação de velocidade maior com relação a média quando comparado aos de menores valores, que por sua vez são mais menos variáveis, ou seja, mais constantes.

Os dados extremos de desvio padrão foram de 0,57 como maior valor e de 0,34 como o de menor valor. A maior inconstância foi identificada como sendo referente à velocidade de 3,36 m.s<sup>-1</sup> do mês de Outubro na coluna da velocidade máxima.

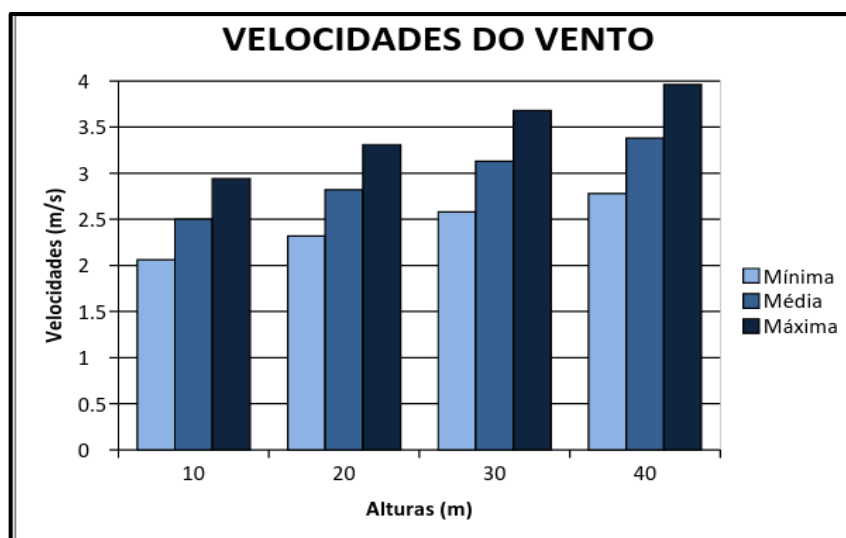
Com os dados de velocidades máxima, média e mínima obtidos na normal climatológica, juntamente com a fórmula de correção de velocidade dos ventos, pôde-se estimar as velocidades nas alturas determinadas por este estudo, conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4 - Velocidades estimadas de acordo com as diferentes alturas e fatores de rugosidade da cidade de Campo Mourão - PR.**

Alturas	Velocidades Máximas	Velocidades Médias	Velocidades Mínimas
10	2,94	2,50	2,06
20	3,31	2,82	2,32
30	3,68	3,13	2,58
40	3,96	3,38	2,78

Para as velocidades (máximas, médias e mínimas), constatou-se que o melhor rendimento, com relação à altura, se encontra na faixa de 40 metros, isso pode ser explicado, segundo Sato (2015) pela menor interferência da rugosidade do terreno no cisalhamento do vento com o plano sob o qual percorre.

Os resultados tabelados foram aplicados em gráfico (Figura 3), a fim de comparação.



**Figura 3 - Gráfico da velocidade do vento em relação a altura.**

Como se pôde observar, as velocidades do vento variam de acordo com a altura. Essa variação é proporcional, haja vista, que a velocidade aumenta conforme ocorre o aumento da altura.

A fórmula utilizada para a estimativa das velocidades do vento, leva em consideração o fator de rugosidade do terreno, portanto, os valores apresentados na Tabela 4, são referentes à classificação realizada no processamento da imagem de satélite, tornando dados exclusivos da cidade em questão.

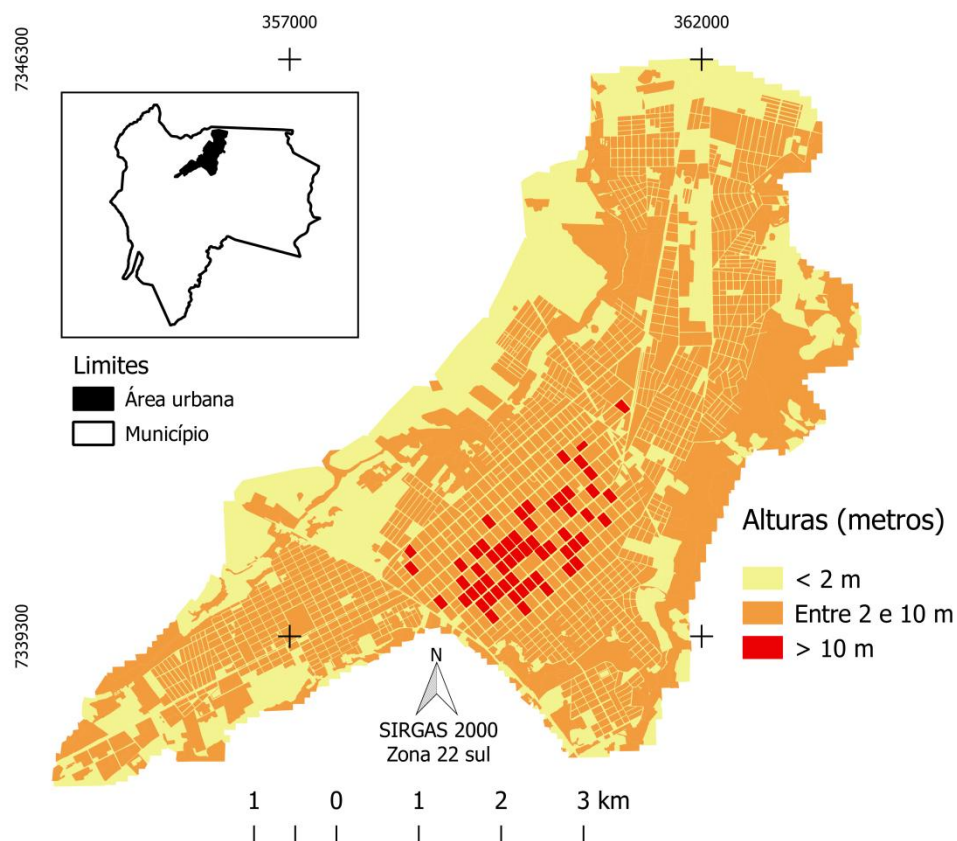
### 5.3 ALTURAS DOS OBSTÁCULOS

Com a realização do geoprocessamento de toda a área urbana do município de Campo Mourão, foi possível identificar e classificar as quadras de acordo com o fator de rugosidade. Dessa maneira, o resultado obtido foi o mapeamento dos obstáculos encontrados, diferenciados pelas alturas (Figura 4). Entende-se por obstáculo, todo e qualquer bloqueio do vento que possa interferir na velocidade e/ou direção do vento, como por exemplo, edificações, florestas e cultivos.

A área urbana foi classificada em três classes principais, no mapa a cor amarela representa obstáculos com até 2 (dois) metros de altura. São incluídas nesta classe portanto, áreas de gramado, sem vegetação, terreno cultivado, águas, ruas e mineração, totalizando 37,61% de toda a área coberta.

Em laranja encontra-se a classe referente aos obstáculos maiores de 2 (dois) e menores que 10 (dez) metros, incluídas portanto as áreas urbanas sem edifícios altos, florestas, terreno com muitas árvores e poucas estruturas e áreas com poucas árvores. Esta classe representa 59,77% da área urbana do município, identificada como a maior parcela de cobertura da área.

Já a área identificada pela cor vermelha, é pertencente aos obstáculos maiores que 10 (dez) metros de altura. Está inclusa nesta classe, somente a área urbana com edifícios altos. Sua porcentagem corresponde a apenas 2,63%, considerado como a menor parcela de cobertura da área.



**Figura 4 - Altura dos obstáculos identificados por imagem de satélite da cidade de Campo Mourão - PR.**

De acordo com os dados e o mapa exposto, pode-se constatar que os maiores obstáculos estão localizados no centro da cidade representados pelas edificações, assim como Morigi e Bovo (2016) ressaltaram quando explicaram, em seu estudo, que a verticalização na cidade de Campo Mourão, está concentrada na região central, justificou essa condensação em função da infraestrutura, do comércio e dos serviços ali instalados.

Os dados encontram-se tabelados (Tabela 5) e apresentados em gráfico, objetivando a comparação das características de altura dos obstáculos existentes na cidade de Campo Mourão – PR.

**Tabela 5 - Análise numérica das classes de altura identificadas no município de Campo Mourão - PR.**

Altura (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
< 2	14,37	37,61
Entre 2 e 10	22,83	59,77
> 10	1	2,63

O gráfico (Figura 5) demonstra os resultados apresentados na Tabela 5, onde é possível identificar uma classe intermediária (< 2m) correspondente a 37,61% de toda a área analisada, este fator pode ser relacionado com o corte da imagem de satélite, pois para a obtenção da área urbana foi necessário abranger uma parte da área rural. O que justifica a maioria da sua extensão estar localizada na área marginal do mapa, com poucas manchas na área urbana (classificado pela cor amarela), além da sua composição, sendo constituída por áreas de gramado, sem vegetação, terreno cultivado características de área rural, além de águas, ruas e mineração.

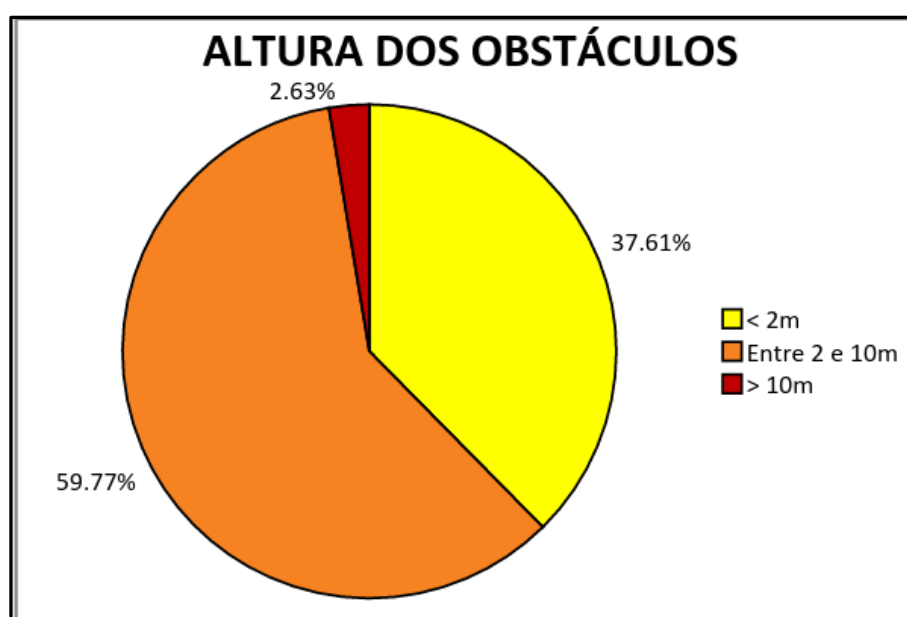


Figura 5 - Estatística das alturas dos obstáculos encontrados no município de Campo Mourão - PR .

De acordo com Morigi (2015), a cidade de Campo Mourão foi aumentando desde a construção do primeiro edifício alto (Hotel Santa Maria com 8 pavimentos em 1970), deste modo alcançando um crescimento econômico considerável, o que resultou em um incremento significativo do número de edifícios, sobretudo a partir dos anos 2000, ou seja, a verticalização do município é muito recente. Este fator explica sua pequena parcela de obstáculos acima de 10 metros, representado pelos edifícios altos.

## 5.4 POTÊNCIA EÓLICA

Para o cálculo da potência eólica, foi necessário utilizar aerogeradores como parâmetros, pois a área do rotor é uma das variáveis da fórmula que expressa o valor em Watts (W). Para tanto escolheu-se analisar dois modelos de aerogeradores, sendo o *Air 40* representando a microgeração e o *Skystream Land* referente a minigeração, conforme mostra a Tabela 6.

**Tabela 6 - Especificações técnicas dos aerogeradores utilizados para o cálculo da potência eólica de Campo Mourão - PR.**

<b>Especificações Técnicas</b>	<b>Air 40</b>	<b>Skystream Land</b>
Área do Rotor	1,17 (m)	3,72 (m)
Vento para Início de Geração	3,13 (m/s)	3,5 (m/s)
Potência Nominal	160 (W)	2,4 (kW)
Produção de Energia	40 kWh/mês a 5,8 (m/s)	400 kWh/mês a 5,4 (m/s)
Peso	5,9 (kg)	77 (kg)

De acordo com a Tabela 6, pode-se observar que a velocidade do vento para o início de geração de energia do aerogerador *Skystream Land* é de 3,5 (m/s), ou seja, de acordo com a Tabela 4 este aerogerador só produziria energia a no mínimo 30 metros de altura e utilizando como base a velocidade média máxima, onde a média a essa altura é registrada a 3,68 (m/s).

Conforme exposto anteriormente, a faixa de geração da velocidade média máxima é a que possui o maior valor de desvio padrão, o que significa que existe maior variação nas velocidades do vento, hora sendo maior e hora sendo menor, podendo portanto impossibilitar a geração de energia, com qualquer inconsistência do vento.

Por este motivo, o estudo do potencial eólico de Campo Mourão – PR foi realizado com base em apenas 1 (um) aerogerador Air 40 (microgeração).

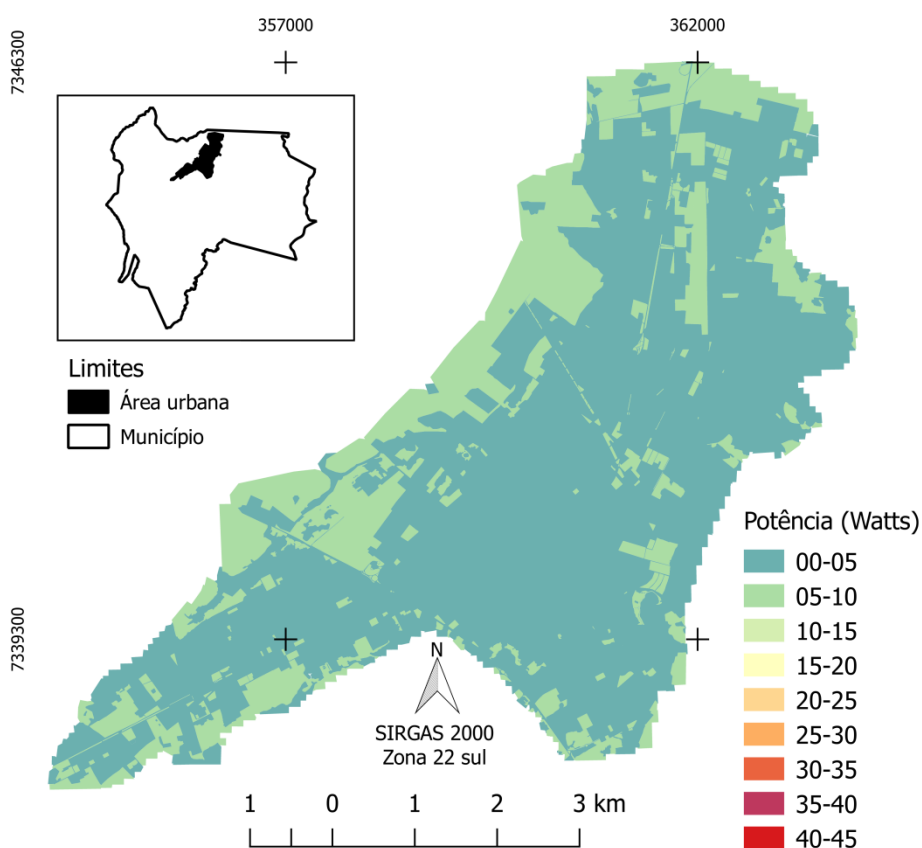
Assim como a velocidade do vento, quanto maior for a altura, maior será também a potência eólica. Portanto, a maior potência foi identificada a 40 metros de altura (Tabela 7) para todas as velocidades (máxima, média e mínima).

**Tabela 7 - Potências estimadas pelo aerogerador Air 40, com rotor de 1,17 metros de diâmetro.**

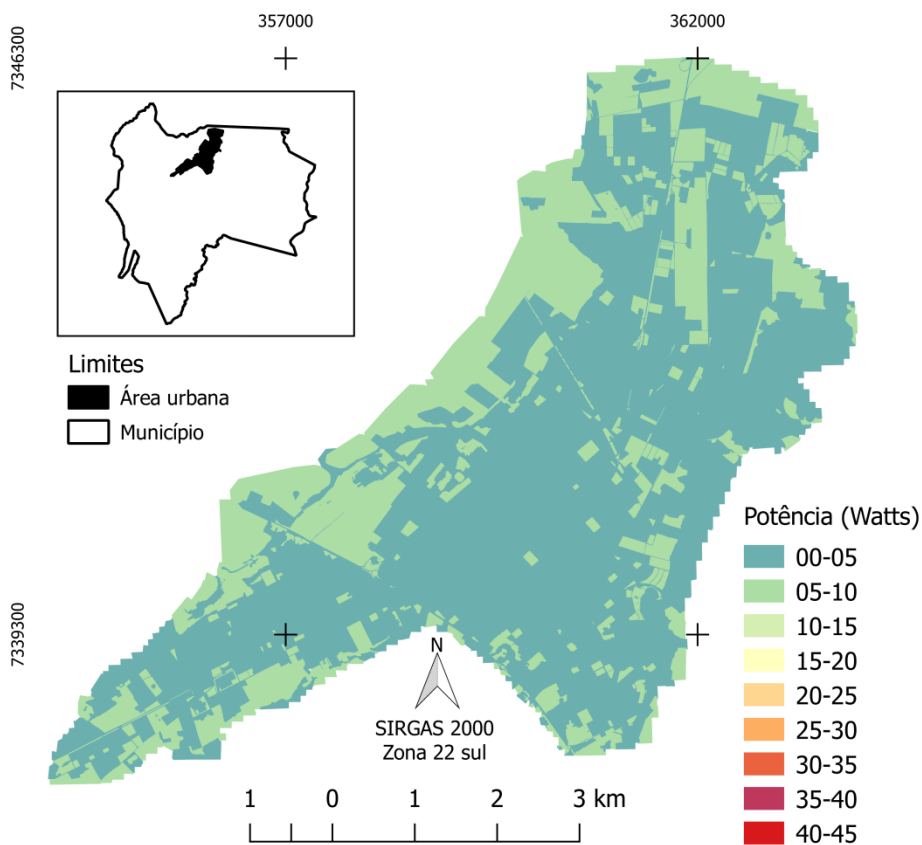
<b>Alturas</b>	<b>Potências Máximas (Watts)</b>	<b>Potências Médias (Watts)</b>	<b>Potências Mínimas (Watts)</b>
10	16,68	10,34	5,77
20	23,85	14,79	8,25
30	32,72	20,29	11,32
40	40,95	25,39	14,17

Com as diferentes médias de velocidade (máxima, média e mínima), juntamente com o fator de rugosidade das quadras e o tipo de aerogerador selecionado, foi possível confeccionar os mapas de potencial eólico, contendo a estimativa da potência considerando fatores como as velocidades do vento e a altura do aerogerador.

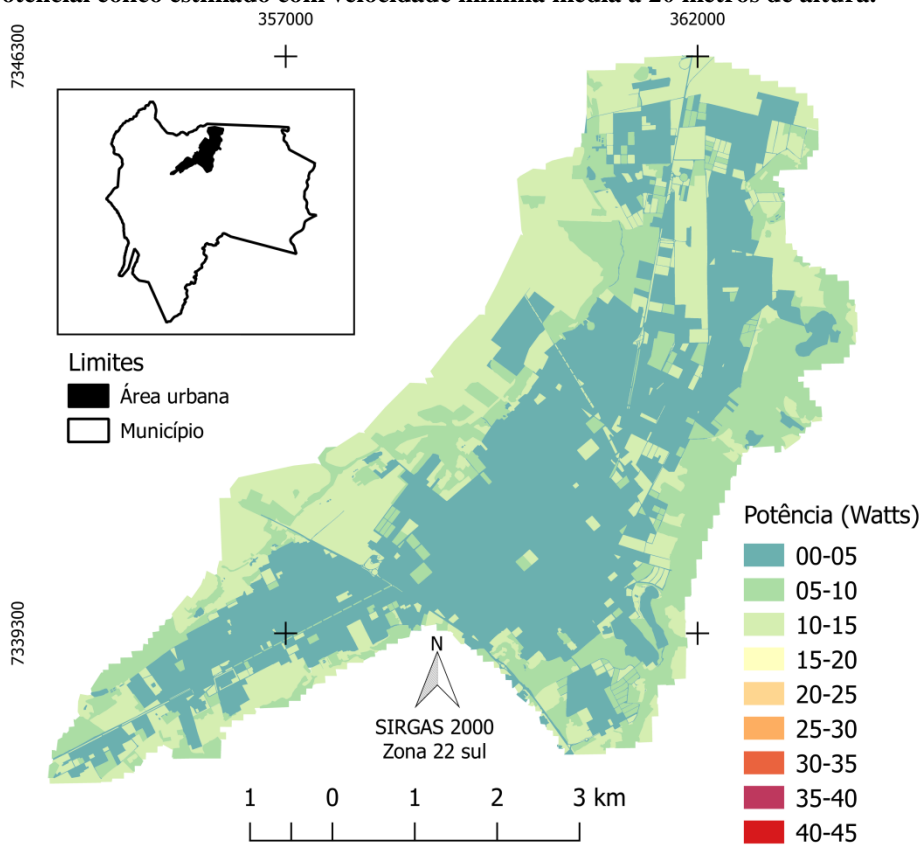
Foram gerados 12 mapas no total, sendo distribuídos em 3 (três) grupos de mapas, diferenciados pelas velocidade do vento (mínima, média e máxima), cada grupo com as alturas pré-definidas (10, 20, 30 e 40 metros). O primeiro grupo é referente à velocidade mínima média, conforme as figuras 6, 7, 8 e 9.



**Figura 6 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 10 metros de altura.**

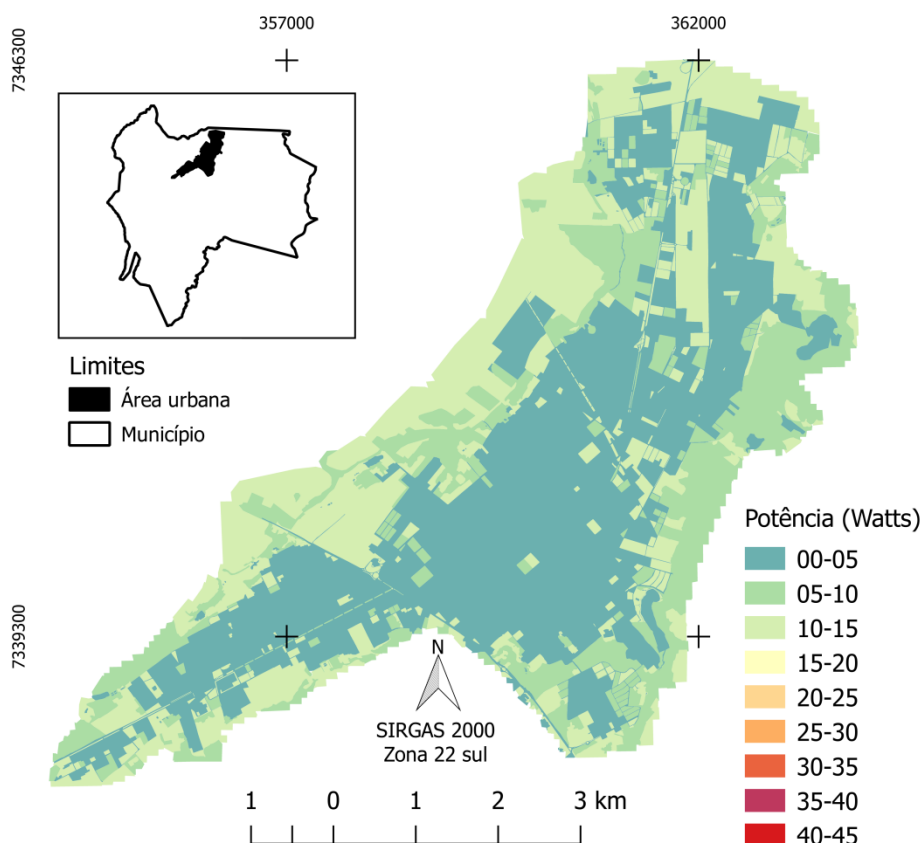


**Figura 7 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 20 metros de altura.**



**Figura 8 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 30 metros de altura.**

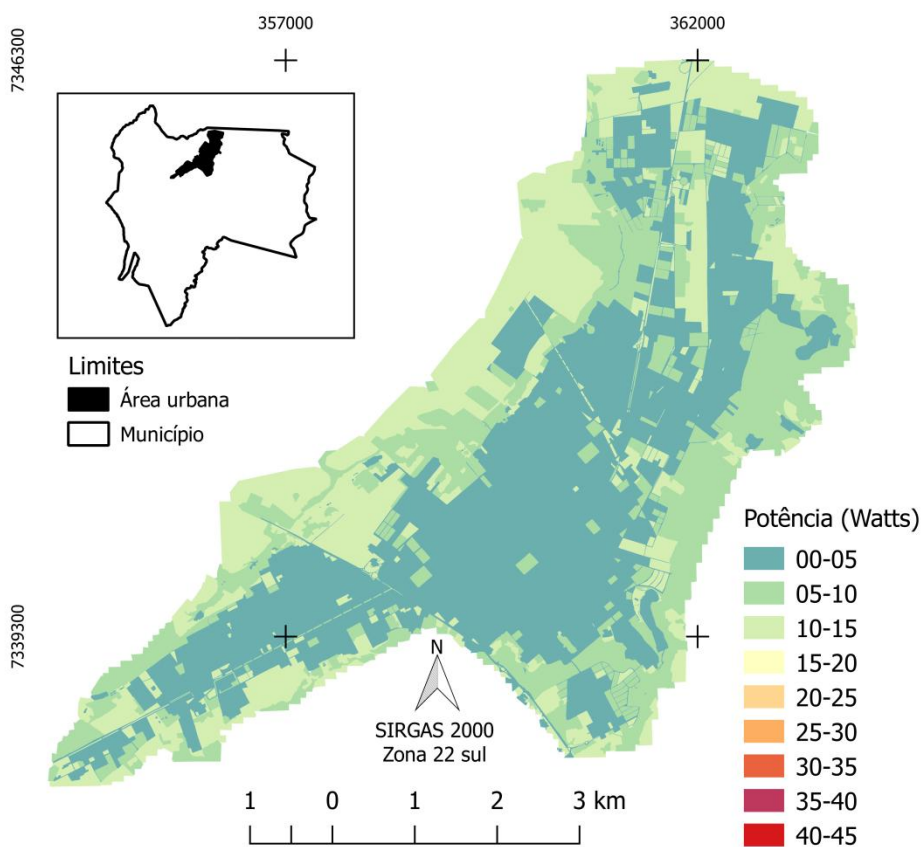




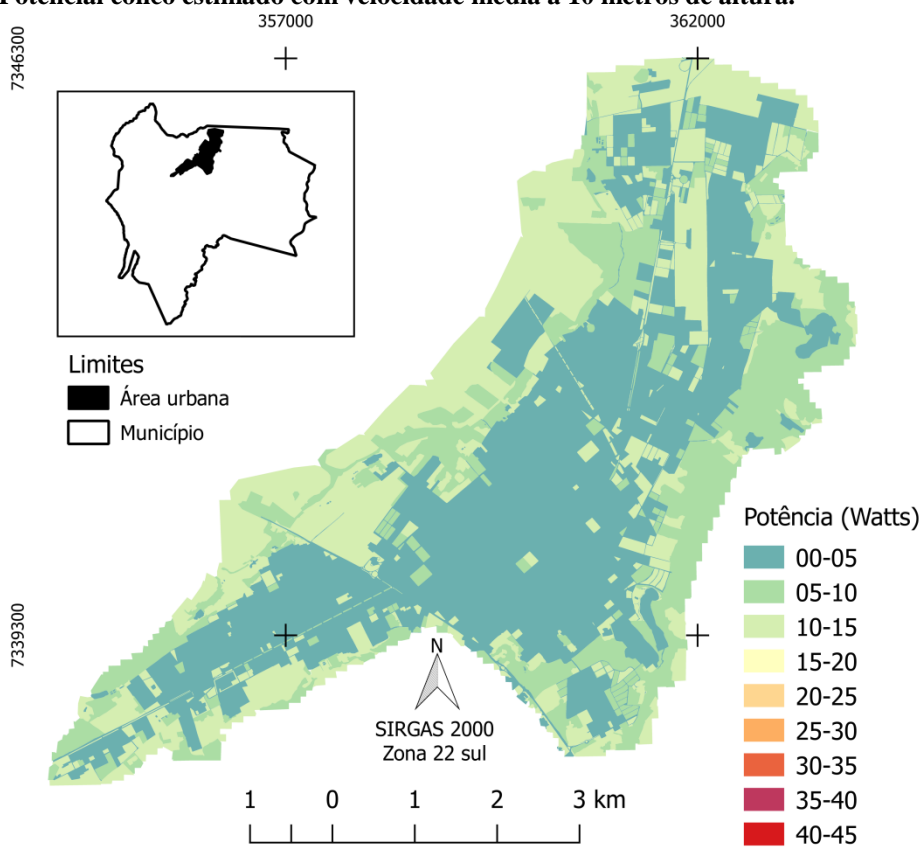
**Figura 9 - Potencial eólico estimado com velocidade mínima média à 40 metros de altura.**

O primeiro grupo apresenta um mapeamento onde praticamente toda sua área está delimitada em azul, o que representa que a geração de energia variou entre 00 e 05 Watts, com poucas manchas verdes referentes a faixa de 05 a 10 watts. Já a 30 e até mesmo 40 metros de altura o potencial máximo alcançado foi de 10 a 15 Watts por aerogerador, sendo que nessas últimas duas faixas de altura, não houveram diferenças de potência.

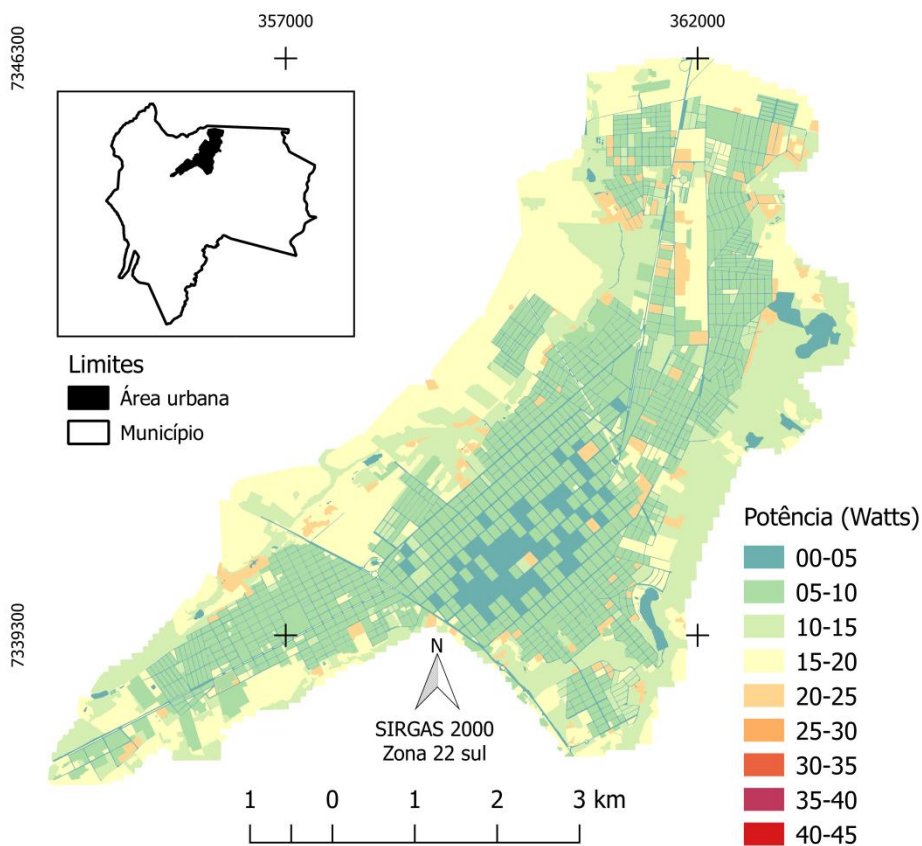
Em seguida, foram apresentados os mapas referentes à velocidade média diferenciadas pelas alturas de 10, 20, 30 e 40 metros, conforme as Figuras 10, 11, 12 e 13.



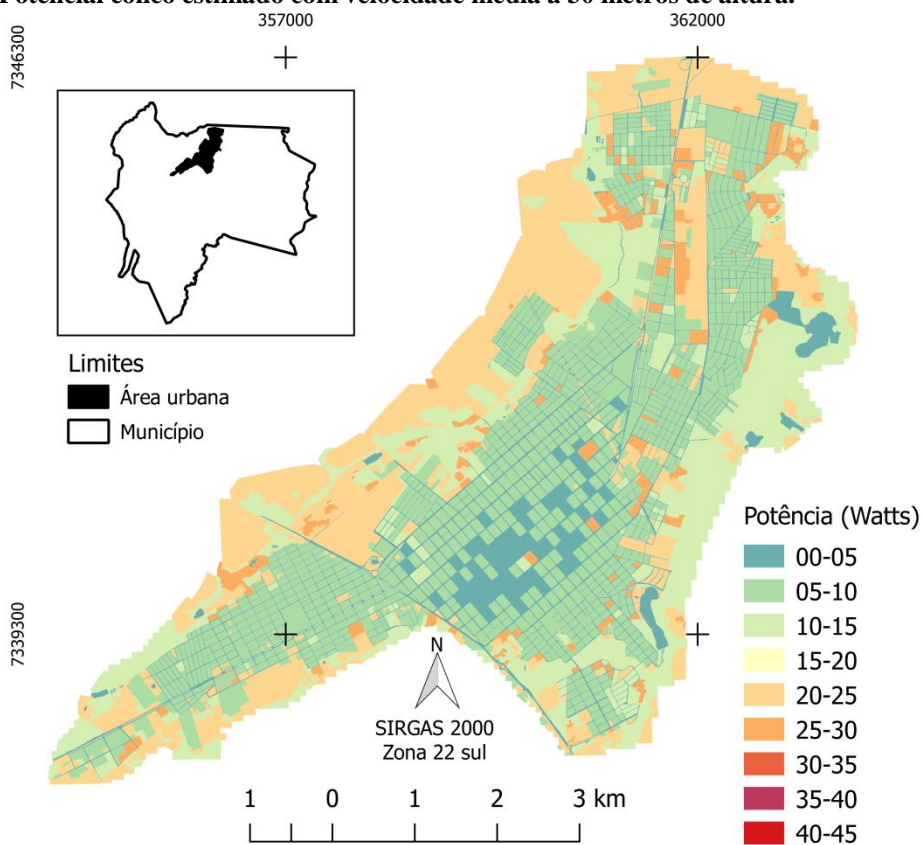
**Figura 10 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 10 metros de altura.**



**Figura 11 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 20 metros de altura.**



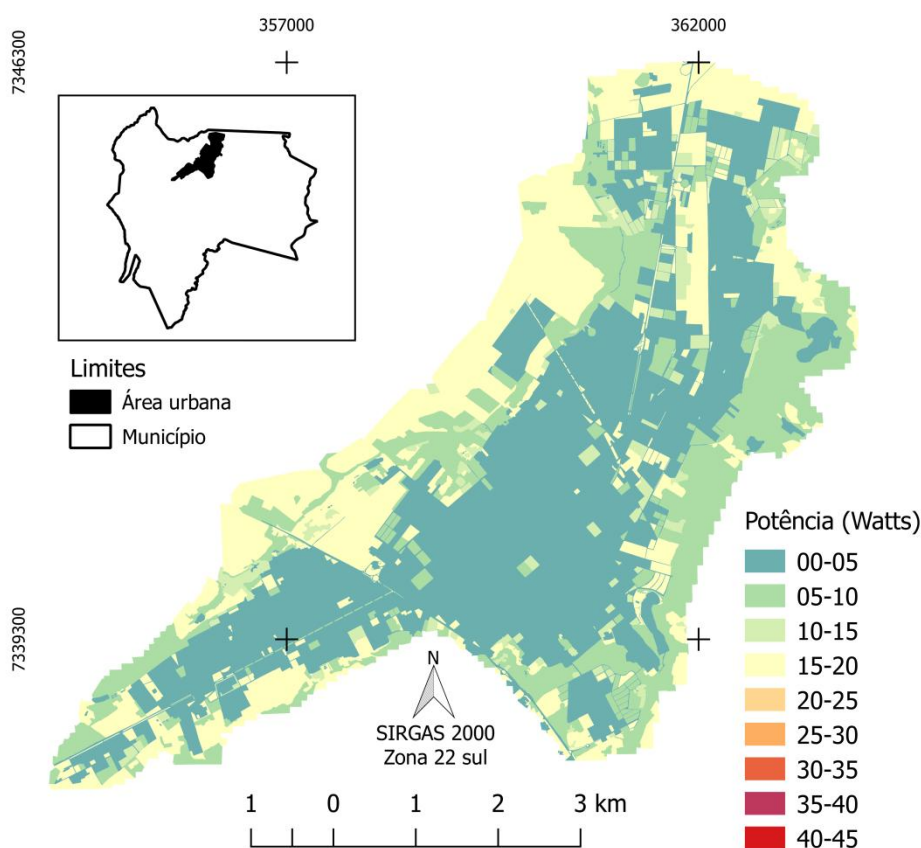
**Figura 12 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 30 metros de altura.**



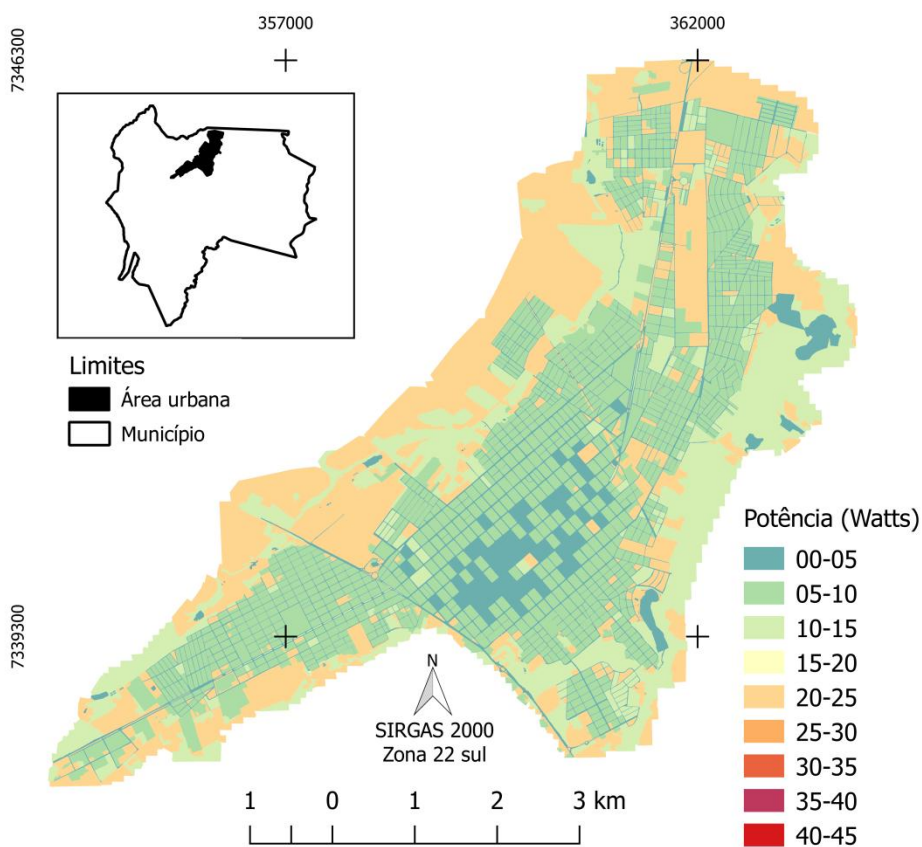
**Figura 13 - Potencial eólico estimado com velocidade média à 40 metros de altura.**

O segundo grupo de mapas, agora calculado a partir da velocidade média dos ventos, apresenta um mapeamento onde nas alturas de 10 e 20 metros possuem a mesma característica dos mapas apresentados no primeiro grupo, considerados os mais baixos índices de potência. Porém, nas alturas de 30 e 40 metros, pode-se observar a presença de cores amarelas representadas pela faixa de 15-20 Watts, laranja-claro onde a faixa é de 20-25 Watts e laranja contido entre 25-30 Watts, este dado evidencia uma potência maior quando comparado com a base de cálculos de velocidade mínima média.

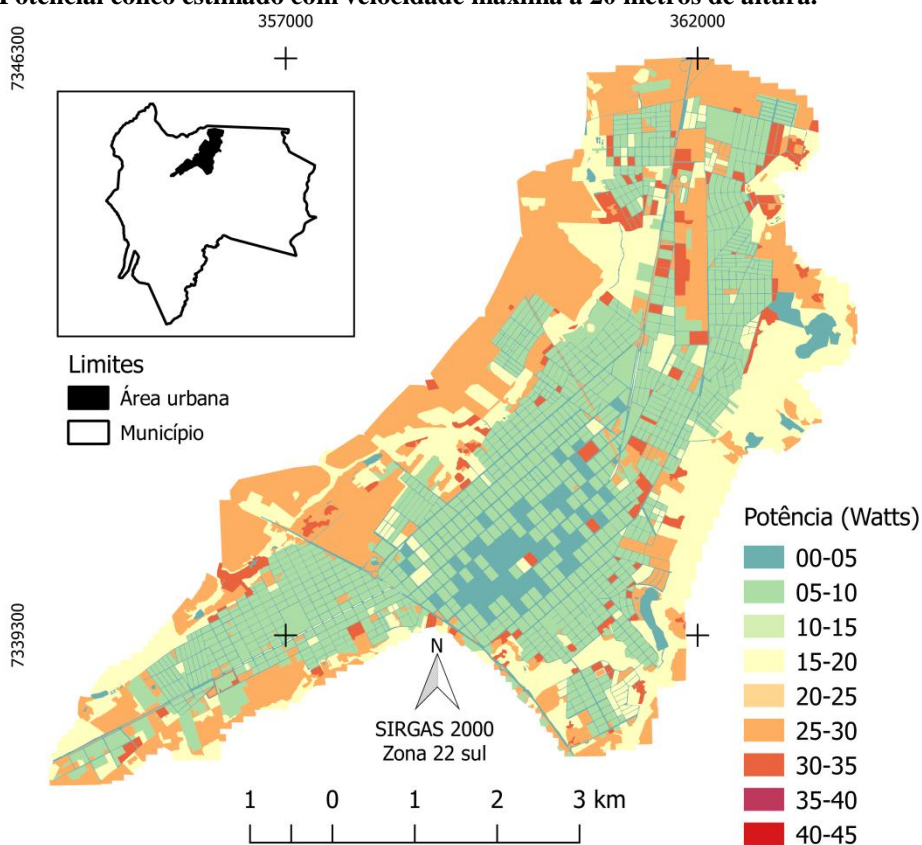
Por fim, foram apresentados os mapas referentes à velocidade máxima, diferenciadas pelas alturas de 10, 20, 30 e 40 metros, conforme as figuras 14, 15, 16 e 17.



**Figura 14 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 10 metros de altura.**

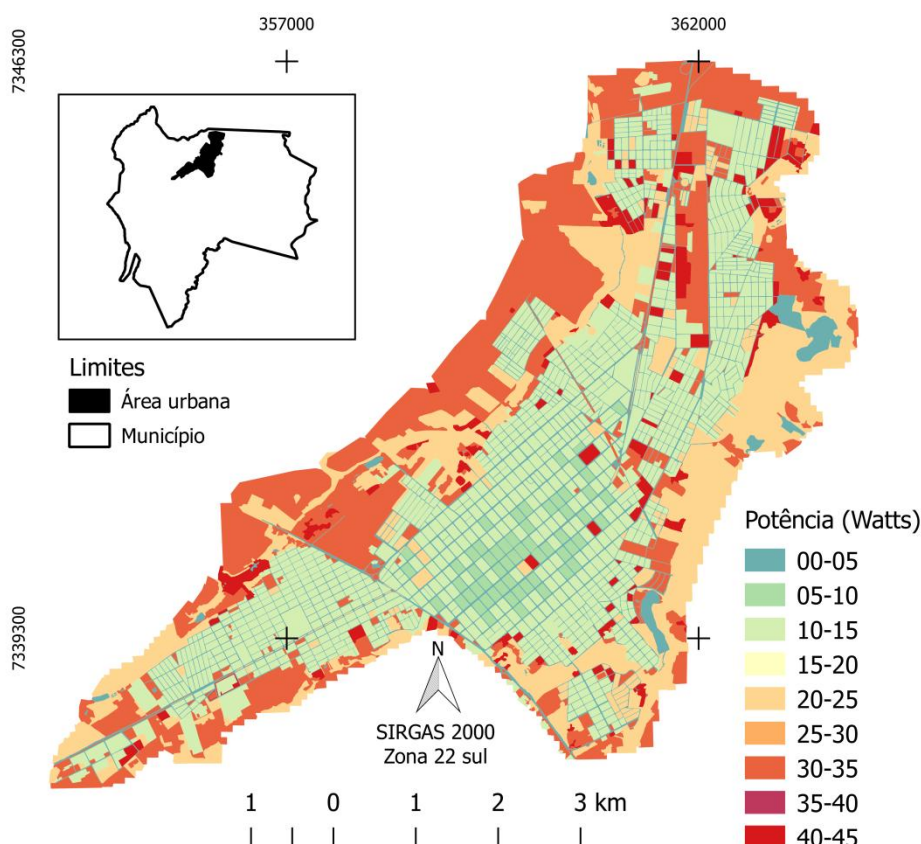


**Figura 15 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 20 metros de altura.**



**Figura 16 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 30 metros de altura.**





**Figura 17 - Potencial eólico estimado com velocidade máxima à 40 metros de altura.**

No terceiro grupo, assim como nos outros dois, apresenta baixa potência à 10 metros de altura, com uma grande área em azul. Porém a 20 metros pode-se identificar áreas com até 25 Watts nas margens da área de estudo. A 30 metros de altura, é possível identificar uma nova faixa de potência representada pela cor laranja-escuro de 30-35 Watts. Já em 40 metros pode-se observar que além do aumento de cor laranja no mapa como um todo, existe a ausência de área azul, menor faixa de geração, na região central onde possui o maior número de obstáculos para o vento, o que caracteriza que a essa altura com essa velocidade a quantidade de Watts gerado é maior que em qualquer outra altura ou velocidade do vento, essa característica só pode ser observada neste mapa.

De acordo com Sato (2015) a velocidade média para altura de 10 metros em Cascavel foi de  $4,03 \text{ m.s}^{-1}$ , de  $4,84 \text{ m.s}^{-1}$  à 25 metros e  $5,32 \text{ m.s}^{-1}$  à 40 metros, porém o trabalho não considerou o fator de rugosidade da área urbana. Já no trabalho de Santos et. al. (2009) os valores não ultrapassaram os  $3 \text{ m.s}^{-1}$ , haja vista, a coleta de dados da área urbana de Cascavel, mais próximo dos dados encontrados em Campo Mourão, onde a velocidade média

encontrada foi de 2,49 com desvio padrão de 0,43, resultando em mínima média de 2,05  $\text{m.s}^{-1}$  e a máxima média de 2,92  $\text{m.s}^{-1}$ .

Os dados podem ser comparados com os do estudo de Ramos e Seidler (2011), que identificaram uma média de velocidade do vento na Estação Meteorológica do Estado do Rio Grande do Sul, localizado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI Campus de Santo Ângelo, com aproximadamente 2,5  $\text{m.s}^{-1}$ , com base em uma série histórica de 6 (seis) anos compreendido entre 1989 à 1994, concluindo que é possível a geração de energia com aerogeradores de pequeno porte com esta velocidade, auxiliando pequenos empreendimentos com os custos dos gastos com consumo de energia.

Já segundo o trabalho de Teixeira (2013), apresenta dados de Lisboa, onde a velocidade dos ventos ficou registrada em uma faixa entre 11,26 e 13,45  $\text{m.s}^{-1}$  (2009-2013), concluindo ainda que para uma turbina Omniflow OM 3.8 à uma velocidade média de 12  $\text{m.s}^{-1}$ , a potência da turbina seria de 1,08 kW.

As análises do potencial eólico com a velocidade mínima média demonstrou uma produção de 00 a 15 Watts, considerando as alturas de 10, 20, 30 e 40 metros. Já a estimativa com a velocidade média, foi obtido uma geração de 00 a 30 Watts e com a velocidade máxima média estimou-se uma geração contida na faixa de 00 a 45 Watts, considerando as mesmas alturas analisadas, já o trabalho de Santos et. al. (2009) a variação foi de 00-21 (W). Conclui ainda, em seu trabalho, que a primavera e o inverno são as estações em que possibilita a viabilidade de geração de energia.

O trabalho de Brackmann et al. (2009), também identificam as maiores velocidades de vento da região central do Rio Grande do Sul, durante as estações de inverno e primavera, considerando a importância de análises posteriores de complementaridade da energia eólica com outras fontes energéticas, nas estações subsequentes. Essa informação vai de encontro com o resultado de Guicho et. al. (2016) onde avalia o potencial eólico sazonal do município de Campo Mourão, concluindo a maior eficiência na primavera (Outubro, Novembro e Dezembro) seguido do inverno (Julho, Agosto, Setembro), visto que sua média de velocidade de ventos é a maior quando comparado aos meses referentes ao verão e outono.

## 6 CONCLUSÃO

Os aerogeradores são mecanismos de geração de energia a partir de fonte renovável, sua potência é variável de acordo com as condições de vento que variam para cada local, considerando suas características geomorfológicas e as ações antrópicas. A cidade de Campo Mourão - PR, possui velocidades médias de vento de aproximadamente  $2,49 \text{ m.s}^{-1}$ , com um desvio padrão de 0,49, o que implica em velocidades de  $2,09 \text{ m.s}^{-1}$  para baixo e velocidade de  $2,92 \text{ m.s}^{-1}$  para cima.

A geração em Watts foi analisada a partir de um único aerogerador, em local determinado pelas classes de rugosidade apresentados na metodologia, conforme o aumento do número de aerogeradores instalados, maior a sua geração. Os dados analisados demonstraram que a velocidade média é relativamente baixa, porém a utilização da energia gerada a partir de uma turbina eólica, torna possível a geração no mesmo ponto de consumo, o que contribuiria, mesmo que em pequena escala, na redução do consumo a partir da rede elétrica convencional.

Em todos os cálculos realizados, independente da média utilizada (máxima, média e mínima), identificou-se uma proporcionalidade entre a altura do aerogerador com o potencial eólico e conseqüentemente o aumento da geração de energia.

Em comparação a área não urbanizada, a faixa de geração urbana é considerada baixa, haja vista, a interferência ocasionada pelos obstáculos verticalizados no centro da cidade, interferindo, de maneira direta e negativa, na velocidade do vento.

Este trabalho objetivou apresentar um mapeamento do potencial eólico de micro e minigeração para a cidade de Campo Mourão - PR, contribuindo desta forma, para a identificação de locais com potencialidade de geração eólica, além de incentivar a sua descentralização. Servindo também de metodologia para subsidiar empresas comercializadoras de aerogeradores, informando a média de potência gerada na região, apresentando dados embasados e um mapeamento específico a essa área.

Como visto a potência eólica urbana não possui uma atratividade tão significativa, essa informação deve ser comprovada com estudos pontuais na área urbana, isso porque as análises realizadas foram embasadas nas médias encontradas referente à Estação Meteorológica do município que fica localizado entre vales, onde o fator orográfico influencia na velocidade real dos ventos.



Quando há obstáculos, a velocidade do vento sofre influência que interferem nos dados e como o aferimento ocorre na Estação Meteorológica, é possível que o potencial eólico urbano seja maior que o analisado neste trabalho.

Espera-se que este trabalho sirva de subsídio a trabalhos futuros que analisem a questão da velocidade do vento pontual para comprovar os dados aferidos, o tempo de retorno do investimento, a possibilidade de cogeração, assim como as melhores aplicações tanto urbanas quanto rurais.

Os estudos relacionados a geração de energia por fontes renováveis, como os de energia eólica, reforçam a importância que essas fontes de energia estão ganhando na matriz elétrica brasileira, intensificando a relação do homem com o meio e oportunizando um desenvolvimento que possibilite um ambiente ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável.

## REFERÊNCIAS

- ALDABÓ, R. **Energia Eólica**. São Paulo. Artliber Editora Ltda, 2002.
- ALMEIDA, Daniel Ladeira. BENASSI, Roseli Frederigi. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. **Revista Hipótese**, Itapetininga, v.1, n.2, p.65-76, 2015.
- AMARAL, Bianca M. Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados a Comercialização de Energia. 2011. 30-31 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – PUC Rio, Rio de Janeiro, 2011.
- AMARANTE, Odilon A. C. BROWER, Michael. ZACK, John. SÁ, Antonio L de. **ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO**. Brasília. 2001.
- BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO. **Capacidade de Geração do Brasil. 2016**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 23 abr. 2016.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015. **Relatório Síntese, ano base 2014**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. Introdução à ventilação natural. Maceió: EDUFAL, 2006.
- BRACKMANN, Rodrigo; CECONI, Márcio; MARTINS, Fernando R.; SCHUCH, Nelson J. **Avaliação do Potencial Eólico da Região Central do Rio Grande do Sul**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, Minas Gerais, 2009.
- CAMARGO, Arilde Sutil Gabriel de. **Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades do Paraná**. 2005. 224 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.
- CASTRO, N. J. de; DANTAS, G.; LEITE, A. L.; BRANDÃO, R.; TIMPONI, R. R. **Considerações sobre as Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira**. Texto de Discussão do Setor Elétrico, n. 19. Rio de Janeiro. 2010.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000, Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 10 de maio de 2016.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia Eólica Princípios e Tecnologia**. Ministério de Minas e Energia. 2008.
- COSTA, R. A.; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. **Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica**. 2009.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FALCÃO, Djalma M. **Impacto da mini e microgeração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica**. 2013.

FREITAS, Bruno M.R.; HOLLANDA, Lavinia. Micro e minigeração no Brasil: viabilidade econômica e entraves do setor. **Revista FGV Energia**. 2015.

GALVÃO, Jucilene. BERMANN, Célio. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Revista Estudos Avançados**, v.29, n.84, pag.43 – 68. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/104941/103731>. Acesso em 25 abr. 2016.

GIANNINI, Marcio. DUTRA, Ricardo M. GUEDES, Vanessa G. **Estudo prospectivo do mercado de energia eólica de pequeno porte no Brasil**. Rio de Janeiro, 2013.

GODOY, Amália M.G. RODRIGUES, Ana L. CINTRA, Anael P.U. DELGADO, Paulo R. MOURA, Rosa. LEAL, Luiz D. **Diagnóstico da Região COMCAM**. Maringá, 2013.

GUICHO, Ricardo. ZAMPIERI, Maria C.; MITSUHASHI, Bruno S.; SILVA, Bruno P.; GARCIA, Leandro C.; HALMEMAN, Maria C. R. **Análise Sazonal do Potencial Eólico no Município de Campo Mourão - PR**. 2016.

INSTITUTO NACIONAL de METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990)**. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz andré Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 2009.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico de Campo Mourão**. Maio, 2016. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87300>. Acesso em: 10 mai. 2016.

MARQUES, J. **Turbinas Eólicas: Modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação**. 2004. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MARTINS, F.R. GUARNIERI, R.A. PEREIRA, E.B. **O aproveitamento da energia eólica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.30, n. 1, 1304 (2008).

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília MME/EPE, 2014.

MIYASHIRO, Carolina S. WAKASSUGUI, Eliana S. SANTOS, Kenia G. dos. COIMBRA-ARAÚJO, Carlos H. Dimensionamento de sistemas eólicos no entorno geográfico do município de Marechal Cândido Rondon. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.3, p. 25-36, 2013.

MOREIRA, R. I. P. **Avaliação do potencial eólico em regime de microgeração**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

MORIGI, Josimari de B; BOVO, Marcos C.. A verticalização urbana em cidades de porte médio: o caso da cidade de Campo Mourão – Paraná, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v.33, p. 48-67, 2016.

RAMOS, Filipe G.; SEIDLER, Nelson. **Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos**. Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI. ISSN 1809-1636. Vol. 7, N.13: p.108-127. Outubro, 2011.

RESOLUÇÃO NORMATIVA DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2015.

RESOLUÇÃO NORMATIVA DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA Nº 687 DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Altera a resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília, 2015.

SANTOS, A. A.; RAMOS, D. S.; SANTOS, N. T. F.; OLIVEIRA, P. P. **Projeto de Geração de Energia Eólica**. 2006. 75 f. Monografia (Graduação do Curso de Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2006.

SATO, Mireille. **Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel, Paraná, 2015.

SILVEIRA, Rafael, B.; ALVES, Maikon P. A.; MURARA, Pedro. **Estudo da caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina**. Anais do X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. p. 380 - 392. 2014. Disponível em: <http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/80.pdf>. Acesso em 14 ago. 2016.

TEIXEIRA, Ana M. P. **Caracterização do potencial eólico urbano: O caso de Lisboa**. 2013. 85-86 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013.

VERGÍLIO, Karen Evelline Perusso. **Geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas: alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil**. 2012. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Energia e Automação). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – EDIFICAÇÕES COM MAIS DE 10 METROS DE ALTURA

Nº de Pav.	0 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 21	Em constr.
Cor					

Qnt.	LOCALIZAÇÃO	Nº DE PAV.
1	24°1'37.30"S / 52°21'59.42"O	10 pav.
2	24°1'52.79"S / 52°22'17.32"O	4 pav.
3	24°1'59.57"S / 52°22'24.88"O	5 pav.
4	24°2'2.31"S / 52°22'16.66"O	9 pav.
5	24°2'0.10"S / 52°22'14.70"O	Em construção
6	24°2'5.56"S / 52°22'13.62"O	7 pav.
7	24°2'9.36"S / 52°22'12.97"O	11 pav.
8	24°2'13.81"S / 52°22'5.79"O	18 pav.
9	24°2'24.92"S / 52°22'7.33"O	5 pav.
10	24°2'31.25"S / 52°22'14.68"O	16 pav.
11	24°2'21.42"S / 52°22'15.27"O	17 pav.
12	24°2'22.69"S / 52°22'13.86"O	16 pav.
13	24°2'19.32"S / 52°22'19.18"O	18 pav.
14	24°2'18.89"S / 52°22'38.52"O	8 pav.
15	24°2'19.44"S / 52°22'40.02"O	4 pav.
16	24°2'20.23"S / 52°22'40.93"O	5 pav.
17	24°2'21.72"S / 52°22'42.39"O	8 pav.
18	24°2'18.36"S / 52°22'44.97"O	4 pav.
19	24°2'30.22"S / 52°22'42.93"O	4 pav.
20	24°2'33.54"S / 52°22'37.86"O	15 pav.
21	24°2'29.92"S / 52°22'48.60"O	6 pav.
22	24°2'38.78"S / 52°22'49.89"O	17 pav.
23	24°2'40.01"S / 52°22'50.52"O	4 pav.
24	24°2'32.32"S / 52°22'58.01"O	6 pav.
25	24°2'43.93"S / 52°23'1.67"O	5 pav.
26	24°2'46.81"S / 52°22'55.22"O	7 pav.
27	24°2'46.43"S / 52°23'1.35"O	7 pav.
28	24°2'48.86"S / 52°23'4.75"O	7 pav.
29	24°2'44.50"S / 52°23'9.26"O	Em construção
30	24°2'55.79"S / 52°23'6.62"O	11 pav.
31	24°2'53.30"S / 52°23'17.54"O	8 pav.
32	24°2'39.02"S / 52°22'21.93"O	17 pav.
33	24°2'41.05"S / 52°22'24.95"O	17 pav.
34	24°2'37.51"S / 52°22'23.20"O	7 pav.
35	24°2'33.55"S / 52°22'24.70"O	16 pav.
36	24°2'33.11"S / 52°22'23.09"O	16 pav.
37	24°2'34.41"S / 52°22'22.38"O	21 pav.
38	24°2'32.40"S / 52°22'29.86"O	7 pav.
39	24°2'28.93"S / 52°22'21.70"O	17 pav.
40	24° 2'41.90"S / 52°23'28.59"O	4 pav.
41	24° 2'32.91"S / 52°23'31.36"O	4 pav.
42	24° 2'39.11"S / 52°23'8.47"O	4 pav.
43	24° 2'58.17"S / 52°22'57.18"O	5 pav.
44	24° 2'54.10"S / 52°22'59.81"O	4 pav.
45	24° 2'51.47"S / 52°22'58.45"O	4 pav.

46	24° 2'32.26"S / 52°23'3.02"O	4 pav.
47	24° 2'45.97"S / 52°22'51.29"O	4 pav.
48	24° 2'53.50"S / 52°22'47.35"O	4 pav.
49	24° 2'51.47"S / 52°22'48.53"O	5 pav.
50	24° 2'54.66"S / 52°22'42.88"O	5 pav.
51	24° 2'52.55"S / 52°22'45.09"O	5 pav.
52	24° 2'49.52"S / 52°22'42.04"O	6 pav.
53	24° 2'43.26"S / 52°22'47.23"O	4 pav.
54	24° 2'37.38"S / 52°22'52.76"O	4 pav.
55	24° 2'39.51"S / 52°22'54.98"O	4 pav.
56	24° 2'34.83"S / 52°22'49.89"O	4 pav.
57	24° 2'36.05"S / 52°22'44.13"O	5 pav.
58	24° 2'46.81"S / 52°22'38.86"O	4 pav.
59	24° 2'42.45"S / 52°22'37.04"O	4 pav.
60	24° 2'33.58"S / 52°22'35.00"O	10 pav.
61	24° 2'37.67"S / 52°22'34.36"O	8 pav.
62	24° 2'36.24"S / 52°22'31.92"O	4 pav.
63	24° 2'28.83"S / 52°22'39.27"O	8 pav.
64	24° 2'31.41"S / 52°22'39.91"O	5 pav.
65	24° 2'30.25"S / 52°22'41.24"O	4 pav.
66	24° 2'21.90"S / 52°22'56.20"O	5 pav.
67	24° 2'22.82"S / 52°22'38.69"O	4 pav.
68	24° 2'15.25"S / 52°22'30.58"O	8 pav.
69	24° 2'11.50"S / 52°22'26.74"O	5 pav.
70	24° 2'12.00"S / 52°22'24.30"O	4 pav.

## APÊNDICE B – ALGORITMO CRIADO PARA O MAPEAMENTO

```

LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

CM_eolico.alg

13
14 // Definicao dos dados de entrada
15
16 Tematico var1 ("CAT_Tematico");
17 Tematico var2 ("CAT_Tematico");
18
19 Tabela tab1 (Ponderacao);
20 tab1 = Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico" ,
21             "Gramado":0.68,
22             "Florestas":0.52,
23             "Sem_Vegetacao":0.68,
24             "Urbana_Sem_Edificio":0.35,
25             "Terreno_Cultivado":0.68,
26             "TMAPE":0.52,
27             "Poucas_Arvores":0.52,
28             "Agua":0,
29             "UCEA":0.21,
30             "Mineracao":0,
31             "Ruas":0);
32
33
34 Tabela tab2 (Ponderacao);
35 tab2 = Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico" ,
36             "Gramado":0.17,
37             "Florestas":0.20,
38             "Sem_Vegetacao":0.17,
39             "Urbana_Sem_Edificio":0.25,
40             "Terreno_Cultivado":0.17,
41             "TMAPE":0.26,
42             "Poucas_Arvores":0.20,
43             "Agua":0.5,
44             "UCEA":0.33,
45             "Mineracao":0.5,
46             "Ruas":0.5);
47
48
49 // Definicao do dado de saida
50
51 Numerico var3, var4, var5, var6, var7, var8, var9, var10,
52 var11, var12, var13, var14, pot110, pot120, pot130, pot140,
53 potmin10, potmin20, potmin30, potmin40, potmax10, potmax20,
54 potmax30, potmax40 ("CAT_MNT");
55
56 // Recuperacao dos dados de entrada
57
58 var1 = Recupere (Nome="Uso2");
59 var2 = Recupere (Nome="Uso2");
60
61 // Criacao do dado de saida
62
63 var3 = Novo (Nome="Matriz10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
64             Min=0, Max=5);
65 var4 = Novo (Nome="Matriz20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
66             Min=0, Max=5);

```



```
67 var5 = Novo (Nome="Matriz30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
68           Min=0, Max=5);
69 var6 = Novo (Nome="Matriz40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
70           Min=0, Max=5);
71
72 var7 = Novo (Nome="MatrizMin10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
73           Min=0, Max=5);
74 var8 = Novo (Nome="MatrizMin20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
75           Min=0, Max=5);
76 var9 = Novo (Nome="MatrizMin30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
77           Min=0, Max=5);
78 var10 = Novo (Nome="MatrizMin40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
79           Min=0, Max=5);
80
81 var11 = Novo (Nome="MatrizMax10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
82           Min=0, Max=5);
83 var12 = Novo (Nome="MatrizMax20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
84           Min=0, Max=5);
85 var13 = Novo (Nome="MatrizMax30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
86           Min=0, Max=5);
87 var14 = Novo (Nome="MatrizMax40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
88           Min=0, Max=5);
89
90
91 pot110 = Novo (Nome="Potencial10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
92           Min=0, Max=50);
93 pot120 = Novo (Nome="Potencial20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
94           Min=0, Max=50);
95 pot130 = Novo (Nome="Potencial30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
96           Min=0, Max=50);
97 pot140 = Novo (Nome="Potencial40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
98           Min=0, Max=50);
99
100 potmin10 = Novo (Nome="PotenciaMin10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
101           Min=0, Max=50);
102 potmin20 = Novo (Nome="PotenciaMin20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
103           Min=0, Max=50);
104 potmin30 = Novo (Nome="PotenciaMin30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
105           Min=0, Max=50);
106 potmin40 = Novo (Nome="PotenciaMin40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
107           Min=0, Max=50);
108
109 potmax10 = Novo (Nome="PotenciaMax10", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
110           Min=0, Max=50);
111 potmax20 = Novo (Nome="PotenciaMax20", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
112           Min=0, Max=50);
113 potmax30 = Novo (Nome="PotenciaMax30", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
114           Min=0, Max=50);
115 potmax40 = Novo (Nome="PotenciaMax40", ResX=1, ResY=1, Escala=5000,
116           Min=0, Max=50);
117
```

```
119 // Geracao da media ponderada
120
121 var3 = 2.49*( Pondere(var1, tab1))*((10)^( Pondere(var2, tab2)));
122 var4 = 2.49*( Pondere(var1, tab1))*((20)^( Pondere(var2, tab2)));
123 var5 = 2.49*( Pondere(var1, tab1))*((30)^( Pondere(var2, tab2)));
124 var6 = 2.49*( Pondere(var1, tab1))*((40)^( Pondere(var2, tab2)));
125
126 var7 = 2.05*( Pondere(var1, tab1))*((10)^( Pondere(var2, tab2)));
127 var8 = 2.05*( Pondere(var1, tab1))*((20)^( Pondere(var2, tab2)));
128 var9 = 2.05*( Pondere(var1, tab1))*((30)^( Pondere(var2, tab2)));
129 var10 = 2.05*( Pondere(var1, tab1))*((40)^( Pondere(var2, tab2)));
130
131 var11 = 2.92*( Pondere(var1, tab1))*((10)^( Pondere(var2, tab2)));
132 var12 = 2.92*( Pondere(var1, tab1))*((20)^( Pondere(var2, tab2)));
133 var13 = 2.92*( Pondere(var1, tab1))*((30)^( Pondere(var2, tab2)));
134 var14 = 2.92*( Pondere(var1, tab1))*((40)^( Pondere(var2, tab2)));
135
136 pot110 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var3^3));
137 pot120 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var4^3));
138 pot130 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var5^3));
139 pot140 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var6^3));
140
141 potmin10 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var7^3));
142 potmin20 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var8^3));
143 potmin30 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var9^3));
144 potmin40 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var10^3));
145
146 potmax10 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var11^3));
147 potmax20 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var12^3));
148 potmax30 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var13^3));
149 potmax40 = ((1/2)*1.225*1.075132*(var14^3));
150
151 }
```