

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

BIANCA SIQUEIRA DA FONSECA
HELLEN FRANCO RAMALHO

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO
DE UM MICRO AEROGERADOR NO *CAMPUS* ECOVILLE DA UTFPR
CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

BIANCA SIQUEIRA DA FONSECA
HELLEN FRANCO RAMALHO

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO
DE UM MICRO AEROGERADOR NO *CAMPUS* ECOVILLE DA UTFPR
CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Nastasha Salame da Silva

CURITIBA
2018

Bianca Siqueira da Fonseca
Hellen Franco Ramalho

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM MICRO AEROGERADOR NO *CAMPUS* ECOVILLE DA UTFPR CURITIBA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 19 de novembro de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Ma.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Profa. Nastasha Salame da Silva, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Nastasha Salame da Silva, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Andrea Lucia Costa, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Paulo Cicero Fritzen, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos às nossas famílias, pelo apoio que sempre nos foi dado. Principalmente aos nossos pais e irmãos, pela confiança que sempre depositaram em nós, pelo amor que nos ensina muitas coisas e carinho em todos os momentos, fáceis e difíceis.

Agradecemos ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, seus docentes e funcionários técnicos-administrativos, que proporcionaram o alicerce acadêmico para alcançar este objetivo.

Agradecemos em especial a Professora Dra. Nastasha Salame da Silva, pela sua orientação segura, sua dedicação, pelas sugestões e correções que foram de suma importância para este trabalho.

Agradecemos a todos os nossos amigos pelo apoio em todos os momentos, pelos inúmeros conselhos e palavras de incentivo, e por estarem sempre ao nosso lado.

Por fim, agradecemos a Deus pelas oportunidades e principalmente pelas pessoas que encontramos durante toda nossa caminhada.

“Se você assume que não existe esperança, então você garante que não haverá esperança. Se você assume que existe um instinto em direção à liberdade, então existem oportunidades de mudar as coisas.”

(Noam Chomsky)

RESUMO

FONSECA, Bianca Siqueira da; RAMALHO, Hellen Franco. **Estudo de caso: Análise da viabilidade da implantação de um micro aerogerador no *campus* Ecoville da UTFPR Curitiba.** 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A tendência mundial de aumento da demanda por energia implica na necessidade de diversificação da matriz energética e as questões ambientais levam à busca por fontes de geração renováveis. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe a possibilidade da instalação de um micro aerogerador no *campus* Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, visando o estudo da viabilidade em todos os seus aspectos. Foram coletados os dados referentes ao equipamento e ao local da possível implantação e estimou-se o potencial eólico para a análise cerne do trabalho, considerando nos cálculos a particularidade de cada microturbina em questão, não apenas utilizando equações genéricas para obtenção deste potencial. Os cálculos para a análise da viabilidade econômica são demonstrados e constatou-se que a possível instalação do micro aerogerador é muito aceita socialmente, se demonstrou de fácil aquisição e é uma boa opção de geração sem agredir o meio ambiente.

Palavras-chave: Energia eólica; viabilidade; micro aerogerador; Curitiba.

ABSTRACT

FONSECA, Bianca Siqueira da; RAMALHO, Hellen Franco. **Case study: Feasibility analysis of a micro wind turbine implantation at the Ecoville campus of UTFPR Curitiba.** 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The world's trend of energy increasing demand implies the need to diversify the energy matrix and environmental issues lead to the search for renewable generation sources. With that in mind, the present work proposes the possibility of installing a micro wind turbine at the Ecoville *campus* of the Federal University of Technology - Paraná, aiming the feasibility study in all its aspects. The equipment's and the possible implantation location's data were collected and the wind potential for the core analysis of the work was estimated, considering the particularity of each approached microturbine in the calculations, not only using generic equations to obtain this potential. The economic feasibility analysis calculations are demonstrated and it was verified that the possible installation of the micro aerogenerator is very socially accepted, relatively easy to acquire and is a good generation option without harming the environment.

Keywords: wind energy; feasibility; micro aerogenerator; Curitiba.

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ABEEólica | Associação Brasileira de Energia Eólica |
| ABGD | Associação de Geração Distribuída |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CC | Corrente contínua |
| CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica |
| CENBIO | Centro Nacional de Referência em Biomassa |
| CEPEL | Centro de Pesquisa de Energia Elétrica |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CGH | Central Geradora Hidrelétrica |
| COPEL | Companhia Paranaense de Energia |
| DAELT | Departamento Acadêmico de Eletrotécnica |
| EOL | Central Geradora Eólica |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FV | Fotovoltaico |
| GD | Geração Distribuída |
| GWEC | <i>Global Wind Energy Council</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICMS | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços |
| IDEAL | Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina |
| INEE | Instituto Nacional de Eficiência Energética |
| MWp | Mega Watt-pico |
| NBR | Norma Brasileira |
| PCC | Ponto de Conexão Comum |
| PROBIOGAS | Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil |
| SIMEPAR | Sistema Meteorológico do Paraná |
| TCC | Trabalho de Conclusão de Curso |
| UC | Unidade Consumidora |
| UF | Unidade Federativa |
| UFV | Unidade Central Geradora Fotovoltaica |
| UTE | Unidade Central Geradora Termelétrica |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| WWEA | <i>World Wind Energy Association</i> |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: TURBINA EÓLICA COM ROTOR DE EIXO HORIZONTAL..... | 36 |
| FIGURA 2: TURBINAS EÓLICAS COM ROTOR DE EIXO VERTICAL. NA SEQUÊNCIA: A) SAVONIUS, B) DARRIEUS E C) H-DARRIEUS..... | 37 |
| FIGURA 3: CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA EÓLICO ISOLADO..... | 39 |
| FIGURA 4: CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA EÓLICO CONECTADO À REDE..... | 40 |
| FIGURA 5: LOCALIZAÇÃO DO LOCAL ESCOLHIDO PARA O ESTUDO: <i>CAMPUS</i> UTFPR ECOVILLE..... | 42 |
| FIGURA 6: VISTA SUPERIOR DO ESTACIONAMENTO AO LADO DOS BLOCOS L, M E N DA UTFPR <i>CAMPUS</i> ECOVILLE..... | 43 |
| FIGURA 7: ESTACIONAMENTO AO LADO DOS BLOCOS L, M E N DA UTFPR <i>CAMPUS</i> ECOVILLE..... | 43 |
| FIGURA 8: GABARITO DE FUNDAÇÃO E TORRE ESTAIADA DE 12 METROS..... | 44 |
| FIGURA 9: MAPA PARA LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DO MICRO AEROGERADOR..... | 49 |
| FIGURA 10: MAPA DE RELEVO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA..... | 50 |
| FIGURA 11: DA ESQUERDA PARA A DIREITA, TURBINAS GERAR 246, RAZEC 266 E VERNE 555..... | 54 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1: A EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL (MW) | 14 |
| GRÁFICO 2: PREVISÃO DO MERCADO MUNDIAL DA CAPACIDADE INSTALADA DE PEQUENAS TURBINAS EÓLICAS..... | 19 |
| GRÁFICO 3: PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DA GD COM RELAÇÃO À GERAÇÃO TOTAL DE ENERGIA EM CADA PAÍS SELECIONADO NO ANO DE 2014 | 24 |
| GRÁFICO 4: POTÊNCIA INSTALADA ACUMULADA DE SISTEMAS FV CONECTADOS À REDE NO BRASIL..... | 30 |
| GRÁFICO 5: RELAÇÃO ENTRE O ARMAZENAMENTO HÍDRICO E A PRODUÇÃO EÓLICA | 33 |
| GRÁFICO 6: GD POR TIPO DE FONTE DE ENERGIA (POTÊNCIA)..... | 34 |
| GRÁFICO 7: MÉDIA DA VELOCIDADE NO MÊS PARA AS ALTURAS DE 10 METROS E 12 METROS | 48 |
| GRÁFICO 8: CURVA E EQUAÇÃO DA POTÊNCIA EM KWH/MÊS QUE O MICRO AEROGERADOR GERAR 246 FORNECE A 12 M DE ALTURA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DOS VENTOS EM M/S | 55 |
| GRÁFICO 9: CURVA E EQUAÇÃO DA POTÊNCIA EM KWH/MÊS QUE O MICRO AEROGERADOR RAZEC 266 FORNECE A 12 M DE ALTURA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DOS VENTOS EM M/S | 56 |
| GRÁFICO 10: CURVA E EQUAÇÃO DA POTÊNCIA EM KWH/MÊS QUE O MICRO AEROGERADOR VERNE 555 FORNECE A 12 M DE ALTURA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DOS VENTOS EM M/S | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1: UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR ESTADO | 23 |
| TABELA 2: BRASIL, CONSUMO DE ELETRICIDADE NA REDE (GWH) | 25 |
| TABELA 3: UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR FONTE . | 29 |
| TABELA 4: MÉDIAS DE VELOCIDADE DIÁRIA DO PIOR E MELHOR MÊS..... | 45 |
| TABELA 5: CLASSES DE RUGOSIDADE | 47 |
| TABELA 6: PRODUÇÃO DE ENERGIA EM KWH/MÊS PARA A ALTURA DE 12 METROS . | 54 |
| TABELA 7: VALOR DE REFERÊNCIA DOS CONJUNTOS DE GERAÇÃO EÓLICA OFF GRID COTADOS | 63 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 TEMA | 13 |
| 1.1.1 Delimitação do Tema | 14 |
| 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS | 15 |
| 1.3 OBJETIVOS | 17 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 17 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 17 |
| 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 19 |
| 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO | 20 |
| 2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 22 |
| 2.1 IMPORTÂNCIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 25 |
| 2.2 CLASSIFICAÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 27 |
| 2.3 TIPOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 29 |
| 2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos | 30 |
| 2.3.2 Biomassa | 31 |
| 2.3.3 Hidráulica | 32 |
| 2.3.4 Eólica | 32 |
| 3. ENERGIA EÓLICA NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 34 |
| 3.1 TIPOS DE MICRO E MINI TURBINAS EÓLICAS | 35 |
| 3.1.1 Turbinas eólicas com rotores de eixo horizontal | 35 |
| 3.1.2 Turbinas eólicas com rotores de eixo vertical | 37 |
| 3.2 TECNOLOGIAS DE GERADORES PARA APLICAÇÃO EÓLICA | 38 |
| 3.3 CONEXÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO EÓLICA À REDE ELÉTRICA | 39 |
| 4. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DO RECURSO EÓLICO | 41 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL ESCOLHIDO PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE | 41 |
| 4.2 PARÂMETROS ESSENCIAIS PARA PROJEÇÃO DE UM POTENCIAL EÓLICO | 44 |
| 4.2.1 Velocidade dos ventos no município de Curitiba | 45 |
| 4.2.2 Direção dos ventos no município de Curitiba | 48 |
| 4.2.3 Relevo do município de Curitiba | 49 |
| 5. DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO LOCAL ESCOLHIDO | 51 |
| 5.1 MODELOS DE AEROGERADORES | 52 |
| 5.1.1 Gerar 246 | 52 |
| 5.1.2 Razec 266 | 53 |
| 5.1.3 Verne 555 | 53 |
| 5.2 REGRESSÕES NÃO LINEARES PARA OBTENÇÃO DA POTÊNCIA FORNECIDA MENSALMENTE POR CADA MICRO AEROGERADOR | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.1 Regressão não linear - GERAR 246..... | 55 |
| 5.2.2 Regressão não linear - RAZEC 266 | 56 |
| 5.2.3 Regressão não linear - VERNE 555..... | 57 |
| 5.3 ESCOLHA DO MICRO AEROGERADOR..... | 58 |
| 6. ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO MICRO AEROGERADOR | 59 |
| 6.1 VIABILIDADE TÉCNICA..... | 59 |
| 6.2 VIABILIDADE COMERCIAL | 59 |
| 6.3 VIABILIDADE AMBIENTAL..... | 61 |
| 6.4 VIABILIDADE SOCIAL | 61 |
| 6.5 VIABILIDADE ECONÔMICA | 63 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 67 |
| REFERÊNCIAS | 69 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A energia eólica é uma forma de energia cinética produzida pelo aquecimento diferenciado das camadas de ar, que geram massas específicas e gradientes de pressão desiguais, fazendo com que o ar contido na atmosfera se mova. Outros fatores influentes são o movimento de rotação da Terra sobre seu eixo (CEPEL, 2008) e influências naturais, como: continentalidade, maritimidade, latitude e altitude.

Há mais de 3000 anos vem sendo utilizada pela humanidade a conversão da energia cinética, proveniente dos ventos na atmosfera, em energia mecânica. As primeiras aplicações da energia eólica foram com os moinhos de vento utilizados para moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas (MARTINS, 2008). Com a utilização de turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores, é realizado seu aproveitamento para a geração de eletricidade que ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação (ANEEL, 2005).

Para avaliar o potencial eólico de certa região, é necessária uma minuciosa coleta e análise de dados sobre o comportamento dos ventos, levando em conta seu regime e sua velocidade (ANEEL, 2005). Essa coleta meticulosa se dá por meio de equipamentos específicos de medição, como, por exemplo, o anemômetro que mede e registra dados relativos à velocidade e direção do vento (COPEL, 2016). Alguns desses dispositivos destinados a coleta dos dados dos ventos estão em aeroportos, estações meteorológicas, ou até mesmo em edifícios (PINTO, 2013), tornando possível realizar uma estimativa inicial do potencial eólico de uma microrregião.

De acordo com o relatório 2015 *Global Wind Market Report*, do GWEC (*Global Wind Energy Council*), o Brasil possui ventos que superam a necessidade de eletricidade do país em mais de três vezes. Além disso, os fatores de capacidade brasileiros, que são as medidas de eficiência dos aerogeradores, com base na qualidade dos ventos de uma região, superam a média mundial (GWEC, 2015 apud ABEEólica, 2017a).

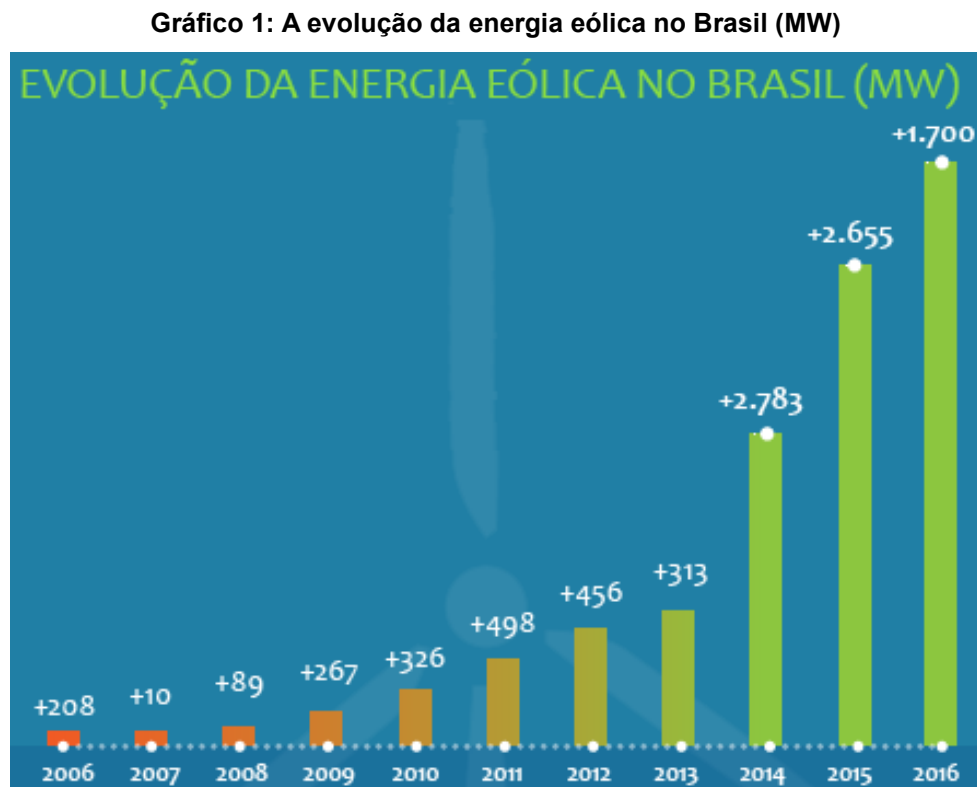
O aproveitamento da geração de energia eólica no Brasil passa dos 50% em unidades aerogeneradoras instaladas, chegando a atingir fatores de mais de 70% quando em épocas de melhores ventos, enquanto os outros países têm

aproveitamento moderado, gerando energia na média de 25%. O fator de capacidade que vem sendo registrado ano após ano e a qualidade do vento brasileiro colocam o Brasil em posição de destaque no cenário mundial de geração de energia eólica (ABEEólica, 2017b).

A partir destes fatos, a energia proveniente da fonte eólica demonstrou-se uma forma de geração promissora que propicia pesquisas em várias áreas, oportunidades de melhoramentos e estudos, inclusive os de nível acadêmico, como teses, dissertações de mestrado e trabalhos de conclusão de curso.

1.1.1 Delimitação do Tema

A técnica de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica é a tecnologia limpa e inesgotável que apresentou um grande crescimento na última década, como pode ser observado no Gráfico 1.



Fonte: Adaptado de ANEEL (2016)

Esse crescimento trouxe diversos benefícios para a sociedade e o meio ambiente de várias nações, dentre essas benesses estão as oportunidades

profissionais que geraram mais empregos, qualidade de vida por não gerar gases poluentes e os baixos impactos ambientais em sua instalação (SIMAS, 2013).

O Brasil é um destaque entre os países que vem demonstrando interesse e investimentos na fonte eólica devido a algumas razões, como o fato de apresentar território apropriado para essa aplicação e a necessidade de diversificar a matriz energética. No ano de 2017 foi o oitavo, de dez países, no ranking dos que mais implantaram geração por esse tipo de energia (GWEC, 2017), apresentando, até o mês de março de 2018, 510 centrais geradoras de energia eólica, com uma potência instalada de 12.509.743 kW (ANEEL, 2018a).

Além das instalações de grande porte, a microgeração de energia por fonte eólica, apesar de tímida, também vem se tornando uma realidade no Brasil. Os primeiros incentivos para a produção de energia eólica de pequena capacidade ocorreram em 2012 através da regulamentação da REN 482/12 que possibilita a conexão da microgeração à rede de distribuição e participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (CRUZ, 2015).

Um dos grandes benefícios da geração eólica em pequena escala é o seu alcance e proximidade dos utilitários, permitindo-os decidir qual parcela poderão produzir, de toda a energia que consomem (BARROS, 2011).

Para que o crescimento dessa fonte se mantenha incisivo no país, a mesma deve ser cada vez mais explorada e estudada. Levando isso em conta, o foco deste trabalho é a realização de estudos relacionados à viabilidade da implantação de um micro aerogerador no *campus* da UTFPR Curitiba, de modo a ponderar as vantagens e desvantagens do uso dessa fonte de energia como forma de complementar o fornecimento energético da universidade.

1.2 PROBLEMAS E PREMISAS

Tem sido cada vez mais importante a viabilização de fontes de energia renováveis e limpas, visto que as questões climáticas, como o aumento das temperaturas da atmosfera e dos oceanos e a emissão de gases que causam a intensificação do efeito estufa, vêm ganhando mais destaque, aliando desenvolvimento e preservação do meio ambiente (COSTA, 2010).

Diante dessa preocupação, busca-se diversificar a matriz energética, de forma a reduzir o uso de combustíveis fósseis e minimizar os impactos ambientais da geração hídrica. Nesta busca, a energia eólica se destaca dentre as diversas fontes renováveis, apresentando um acelerado crescimento nas últimas décadas (SIMAS, 2013), como pode ser observado no Gráfico 1.

O avanço da geração eólica no Brasil foi impulsionado pela sua implantação em grande porte, na maioria dos casos. No entanto, em menor escala existe também a possibilidade de desenvolvimento dessa fonte através da geração distribuída, em que são implantados micro ou mini aerogeradores urbanos, de forma complementar à rede convencional (BARROS, 2011).

Regularizada em abril de 2012, a modalidade de registro de Centrais Geradoras de Capacidade Reduzida consente a compensação da energia consumida quanto a energia injetada na rede (ANEEL, 2017a) e embora a geração eólica de grande porte tenha apresentado amplo crescimento no Brasil, sua aplicação como micro e minigeração encontra-se em fase inicial de desenvolvimento no país (CRUZ, 2015).

A microgeração renovável que ganha mais destaque no âmbito brasileiro é a por fonte solar, que leva vantagem em relação a eólica pelo fato de ser econômica e tecnicamente mais fácil de ser instalada. Entretanto, algumas regiões brasileiras possuem grandes vantagens para investimentos de geração eólica em pequena escala, como o nordeste e o sul do país, devido a características típicas de dessas áreas, que apresentam regimes de ventos constantes e intensos (BORGES, 2015).

Apesar das vantagens, o Brasil investe pouco nessa microgeração e segundo Mauro Passos, presidente do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina, o país está atrasado em relação ao mundo por possuir poucas turbinas de vento em pequeno porte instaladas (BORGES, 2015).

Diante desse cenário, são extremamente relevantes novos estudos a respeito da utilização de geração por fonte eólica em pequena escala, a fim de complementar ou até mesmo suprir a necessidade de consumo energético da rede elétrica convencional, de forma a tornar o fornecimento cada vez mais confiável, sustentável e acessível ao usuário.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da implantação de um micro aerogerador na região de Curitiba/PR para complementar a energia consumida por uma unidade consumidora, o *campus* Ecoville da UTFPR Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Elaborar uma pesquisa bibliográfica a respeito da fonte eólica e geração distribuída;
- b) Coletar dados que se referem ao estudo para a implantação de micro aerogeradores;
- c) Efetuar os estudos de viabilidade global da implantação de um micro aerogerador em Curitiba/PR no *campus* Ecoville da UTFPR, de forma a fornecer parte da energia elétrica consumida por um usuário definido;
- d) Apresentar conclusões quanto a viabilidade da implantação do micro aerogerador.

1.4 JUSTIFICATIVA

O mundo tem vivenciado um significativo crescimento populacional e, como uma de suas consequências, está o aumento da demanda por energia. Tendo em vista esse cenário, há uma progressiva busca por energias que, além de renováveis, sejam sustentáveis, devido à preocupação com o esgotamento de recursos limitados e também para que possam diversificar a matriz energética com o propósito de que esta não esteja restrita a apenas poucas fontes.

Considerando uma perspectiva mais local, o Brasil enfrentou a crise do petróleo na década de setenta e algumas crises hídricas desde 2001. Diante dessas situações, o país não viu outra alternativa senão a busca por outras fontes de energia para

amenizar a recessão energética pela qual estava passando, reforçando o investimento na geração de energia eólica (SIMAS, 2013).

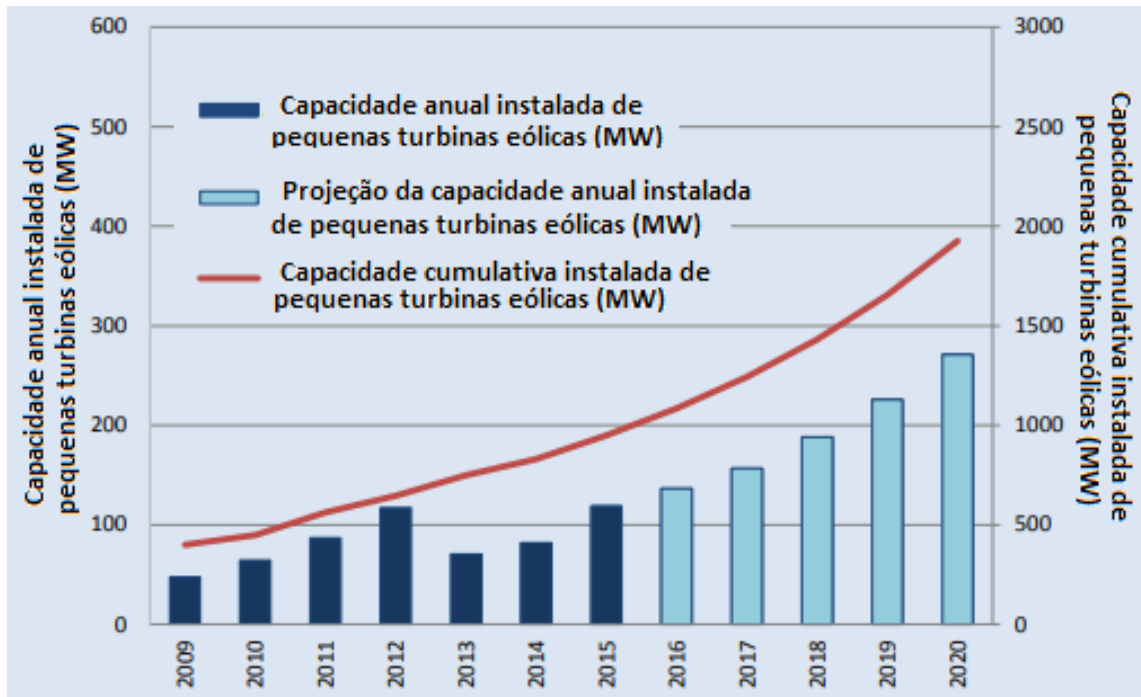
São vários os motivos pelos quais a geração de energia por fonte eólica vem ganhando força no país, dentre eles está o investimento necessário para sua implantação, os preços de produção, operação e manutenção. Essa fonte de energia apresentou uma queda constante nos seus custos desde o início dos anos 1980, sendo esse o objetivo primário das indústrias de pesquisa e desenvolvimento. Devido a esse decréscimo, a partir da última década, a energia eólica vem se tornando uma das fontes mais baratas dentre as energias renováveis (PINTO, 2013).

Além do crescimento da necessidade energética mundial e das questões ambientais, permanece o fato de que os custos para transmissão de energia são muito elevados, então o modelo de geração distribuída (GD) a partir de fontes renováveis emerge como uma opção promissora para o país (MARTINS, 2015).

Com a regularização da ANEEL em 2012, o ramo da geração de energia elétrica tem se demonstrado gradualmente mais descentralizada, em que os centros de geração ficam mais próximos aos consumidores e se apresentam em escalas menores. Essa proximidade com o usuário acarreta o aumento da flexibilidade do uso, a confiabilidade e a disponibilidade de energia, devido à diminuição de perdas técnicas em consequência da menor submissão aos longos trajetos de transmissão da energia demandada (MARTINS, 2015).

Bastante popular na China, com 732 mil micro aerogeradores eólicos instalados no final de 2015, o estudo realizado pela *World Wind Energy Association*, em 2017, prevê uma taxa de crescimento de no mínimo 12% ao ano de turbinas eólicas de pequeno porte instaladas no mundo, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2: Previsão do mercado mundial da capacidade instalada de pequenas turbinas eólicas



Fonte: Adaptado de WWEA (2017)

Em 2016 a Agência Nacional de Energia Elétrica vigorou novas regras para impulsionar a tecnologia de microgeração no Brasil. Com as novas leis é possível que o consumidor troque a energia gerada, pela sua micro instalação renovável, com a distribuidora local, reduzindo o valor de sua fatura. Com essas regras, presume-se que até o ano de 2024, 1,2 milhões de residências contem com energia produzida através de geração distribuída (ABEEeólica, 2016).

Sendo assim, a motivação deste trabalho é realizar o estudo da viabilidade da implantação de um micro aerogerador na região de Curitiba, de forma a complementar o fornecimento de energia que é consumida pelo *campus* Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com Mito e Lima (2007), na realização de uma pesquisa bibliográfica, busca-se um fundamento teórico que sirva de referência para o foco do estudo e subsídio para a futura análise de dados. Sendo assim, difere-se da revisão bibliográfica, visto que une os dados pesquisados nas fontes à teoria, proporcionando uma compreensão crítica do significado dessas informações coletadas.

O começo deste estudo, portanto, é uma pesquisa bibliográfica a respeito da geração de energia eólica em um sistema distribuído, os tipos de pequenas turbinas existentes e o estudo da viabilidade da implantação de um micro aerogerador na região de Curitiba. Toda a fundamentação teórica para o trabalho foi feita no decorrer de sua elaboração, acompanhado da coleta de dados, cedidos pelo SIMEPAR, sobre os ventos na região escolhida e dados referentes ao consumo e custos de energia elétrica, cedidos pela UTFPR, para o *campus* Ecoville, escolhido para ser implantada a microgeração eólica.

Posteriormente à pesquisa bibliográfica e coleta de dados, são apresentadas as conclusões obtidas com o estudo da viabilidade da implantação do micro aerogerador na região predeterminada.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem em sua composição os seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Apresentação da proposta de trabalho, a delimitação do tema, justificativas pelas quais o trabalho foi realizado, os objetivos e procedimentos metodológicos utilizados;

Capítulo 2 – Pesquisa bibliográfica, abordando temas referentes à geração distribuída, sua importância para o cenário energético atual, suas classificações e tipos;

Capítulo 3 – Abordagem de geração distribuída de energia especificamente por fonte eólica, os tipos de micro e mini turbinas, tecnologias de geradores e formas de conexão com a rede elétrica;

Capítulo 4 – Obtenção de dados sobre os ventos da região escolhida, cedidos pelo SIMEPAR e apresentação dos dados da região do *campus* Ecoville, local selecionado para a possível implantação do micro aerogerador, de forma a promover a análise dos recursos eólicos, considerando as particularidades da região;

Capítulo 5 – Apresentação dos cálculos efetuados para a obtenção do potencial eólico do local escolhido, detalhamento dos modelos de micro aerogeradores considerados para possível implantação e a determinação de qual deles melhor se aplica para o caso em questão;

Capítulo 6 – Estudo da viabilidade da implantação do micro aerogerador selecionado para possível implantação, englobando todas as dimensões envolvidas: técnica, comercial, econômica, ambiental e social;

Capítulo 7 – São apresentadas as conclusões obtidas durante a pesquisa quanto à viabilidade global da implantação de um micro aerogerador no *campus* Ecoville da UTFPR Curitiba.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No Brasil, a geração distribuída foi definida oficialmente no artigo 14º do decreto da Presidência da República Nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que considerou como sendo geração distribuída a produção de energia conectada diretamente no sistema elétrico de distribuição do consumidor, originário de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2004), salvo os empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW e os termelétricos, incluindo cogeração, com eficiência energética inferior a 75%, conforme a resolução normativa (não numerada) da ANEEL (2006) que estabelece os requisitos para a certificação deste tipo de geração na modalidade de geração descentralizada.

Além desta, existem inúmeras definições para geração distribuída. De forma simplificada, pode ser definida como a energia elétrica gerada próximo ou junto aos consumidores, sendo proveniente de qualquer tecnologia e fonte de energia e independe da potência (MARTINS, 2015).

Neste trabalho, foi considerada a definição mais simples já citada, porém atendendo as condições gerais estabelecidas pela resolução 482/2012 da ANEEL, em que a geração descentralizada deve ser oriunda de fontes renováveis, como solar, eólica e biomassa, e pode ser subdividida quanto a sua potência: microgeração se a potência for até 75 kW; e minigeração se a potência estiver entre 75 kW e 5 MW (ANEEL, 2017a).

A primeira aplicação da GD foi realizada por Thomas Alva Edison em 1882, quando ele construiu e instalou em Nova York a primeira central de geração elétrica que fornecia energia para cerca de 59 clientes, dos quais possuíam lâmpadas incandescentes, em uma área de aproximadamente 1 km² (DIAS, 2005).

Até o início do século XX a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. No entanto, a partir de 1940, o interesse do consumidor pela GD passou a diminuir devido a popularização e a redução de custo da geração em centrais de grande porte, em decorrência disso, o avanço tecnológico para o incentivo a geração localizada não teve tanta visibilidade. Só após a crise do petróleo e a crescente preocupação por diversificar a matriz energética de forma sustentável, que o interesse pela GD voltou a crescer no Brasil (INEE, 2004).

Com a resolução normativa 687/2015 da ANEEL, algumas formas de incentivo foram estabelecidas para investimento nesse tipo de geração: o sistema de compensação de energia elétrica, em que a energia ativa injetada pela unidade de micro ou minigeração distribuída, é emprestada gratuitamente para a concessionária e posteriormente compensada da sua fatura de energia; melhorias e reforços na instalação, substituição ou reforma de equipamentos, mantendo a prestação de serviços adequados, aumento da capacidade e confiabilidade; e a possibilidade de geração compartilhada e autoconsumo remoto, em que uma unidade consumidora com micro ou minigeração esteja em local diferente das unidades consumidoras das quais a energia excedente será compensada.

As unidades federativas brasileiras que mais possuem UCs de geração distribuída são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, ficando o Paraná na quinta posição, como pode ser observado na Tabela 1. Os dados da tabela abaixo têm oscilações muito representativas em períodos de tempo muito pequenos, como dias. Estes foram coletados em 30 outubro de 2018.

Tabela 1: Unidades consumidoras com Geração distribuída por estado

| UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | | | |
|---|------------|---|-------------------------|
| UF | Quantidade | Quantidade de UCs que recebem os créditos | Potência Instalada (kW) |
| MG | 8.109 | 18.852 | 138.850,82 |
| SP | 7.994 | 9.032 | 55.979,42 |
| RS | 5.288 | 6.363 | 65.574,60 |
| SC | 3.624 | 4.514 | 34.760,34 |
| PR | 2.939 | 2.953 | 32.243,67 |
| RJ | 2.838 | 3.055 | 28.252,85 |

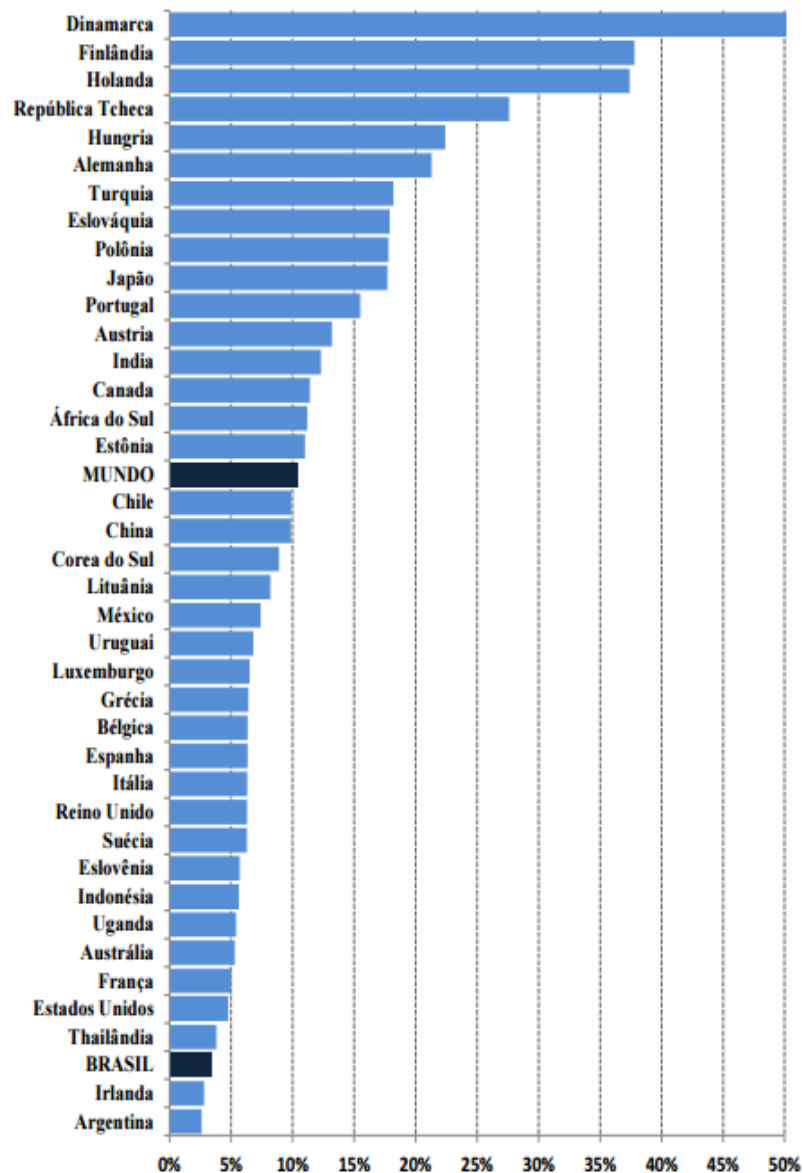
Fonte: Adaptado de ANEEL, 2018b

Ainda que o estado de Minas Gerais, se comparado a São Paulo, não possua tantos pólos industriais ou tamanha concentração habitacional, é o que apresenta maior quantidade de UCs de geração distribuída do país. Isso se deve, principalmente, ao incentivo fiscal dado aos investimentos nesse tipo de geração pela Lei Estadual nº 6.763/95, que isenta ICMS na eletricidade para projetos de geração distribuída em todas as modalidades do sistema de compensação, fotovoltaica de até 5 MWp e

outras fontes de até 1 MWp.

Apesar dos incentivos estabelecidos pela resolução da ANEEL e incentivos fiscais, esse tipo de modalidade ainda está em fase de amadurecimento no Brasil. Analisando o Gráfico 3, elaborado por Martins (2015), a partir dos dados coletados da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2014), é possível perceber como a fração de geração distribuída em relação à geração total ainda se apresenta sutil em todo o mundo, com exceção de apenas alguns países como a Dinamarca, Finlândia e Holanda.

Gráfico 3: Participação percentual da GD com relação à geração total de energia em cada país selecionado no ano de 2014



Fonte: Martins (2015)

2.1 IMPORTÂNCIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Desde o início do século XXI, observou-se um fato disseminado no mundo todo, principalmente com os países em desenvolvimento: o consumo de energia praticamente dobrou e existem estimativas que preveem um aumento de quase 100% para as próximas décadas. O Brasil não é uma exceção a esse fato, desde 2003 até o ano de 2013, obteve um aumento de 52% em seu consumo de energia elétrica (MARTINS, 2015).

De acordo com a projeção da demanda por energia elétrica, publicado em 2017 pelo EPE, o consumo para o período de 2016 a 2026 deverá aumentar cerca de 42%, se conservar a variação média de 3,6% ao ano, considerando o Sistema Interligado Nacional e os Sistemas Isolados, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Brasil, consumo de eletricidade na rede (GWh)

| Ano | Residencial | Industrial | Comercial | Outros | Total |
|---------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 2016 | 132.611 | 163.758 | 88.165 | 74.981 | 459.515 |
| 2017 | 136.018 | 165.268 | 90.083 | 77.249 | 468.617 |
| 2018 | 140.681 | 168.706 | 93.192 | 79.983 | 482.563 |
| 2019 | 145.773 | 172.514 | 96.758 | 82.984 | 498.030 |
| 2020 | 151.704 | 177.362 | 100.801 | 86.424 | 516.290 |
| 2021 | 158.008 | 185.916 | 105.045 | 90.103 | 539.071 |
| 2022 | 164.613 | 195.531 | 109.485 | 93.932 | 563.560 |
| 2023 | 171.529 | 201.372 | 114.181 | 97.981 | 585.062 |
| 2024 | 178.778 | 207.087 | 119.147 | 102.261 | 607.273 |
| 2025 | 186.262 | 212.836 | 124.337 | 106.718 | 630.153 |
| 2026 | 193.990 | 218.829 | 129.758 | 111.357 | 653.935 |
| Variação (% ao ano) | | | | | |
| 2016-2021 | 3,6 | 2,6 | 3,6 | 3,7 | 3,2 |
| 2021-2026 | 4,2 | 3,3 | 4,3 | 4,3 | 3,9 |
| 2016-2026 | 3,9 | 2,9 | 3,9 | 4,0 | 3,6 |

Fonte: Projeção da demanda de energia elétrica, EPE (2017)

Surge então a necessidade de suprir todo este aumento da demanda por energia. Logo pensa-se na instalação de grandes unidades de geração, no entanto, este padrão passou a ser questionado quando houve o surgimento de tecnologias que

diminuem os custos da energia em pequena escala. O modelo de geração em grandes proporções, como as grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, está associado a um grande impacto ambiental em sua construção, somado à dificuldade de investimento e financiamentos dessas centrais, visto que envolvem gastos com transporte de energia, além da construção das usinas. Esses motivos colaboraram para que a geração distribuída passasse a ser mais valorizada (BARBOSA, 2013).

Além da economia em instalação e transmissão de energia, a micro e minigeração promovem a diversificação da matriz energética. Dados concedidos pelo Banco de Informações de Geração da ANEEL constataam que mais de 85% da geração de energia elétrica está concentrada em apenas dois tipos, as usinas hidrelétricas e termelétricas (ANEEL, 2018a).

Com relação ao tempo de implantação, a geração distribuída possui uma grande vantagem em relação à geração centralizada, visto que não exige grandes obras dos centros de geração, bem como do complexo de transmissão e distribuição. Assim, pode atender mais rapidamente à demanda energética crescente e de maneira mais sustentável (PROBIOGÁS, 2017).

Outro fator a ser analisado é a confiabilidade de um sistema elétrico, para isso deve ser levado em conta indicadores individuais e coletivos como sinais para a qualidade no fornecimento de energia. A qualidade do fornecimento depende do desempenho de um grande número de agentes, que inclui geração, transmissão e distribuição, ou seja, quando ocorre uma interrupção no fornecimento de energia, o problema pode estar ligado à distribuidora local, à central de geração que supre o fornecimento para as linhas de transmissão ou ainda a interrupção pode acontecer por falha na instalação de um desses agentes. Portanto, com a possível ascensão da geração descentralizada, a preocupação em relação a segurança do abastecimento é minimizada, pois evitará quedas, cortes e ausências de energia elétrica (ANEEL, 2017b) e (INSTITUTO ACENDE BR, 2014).

Além de promover maior confiabilidade, o sistema de geração distribuída reduz a possibilidade de perdas no decorrer do transporte de energia e prorroga investimentos para reforçar os sistemas de transmissão, visto que está mais próximo às cargas consumidoras (ALMEIDA, 2010).

Outra vantagem da geração distribuída é o fato de poder ser conectada diretamente na rede elétrica, trabalhando em paralelo com o fornecimento da rede pública, nesses casos o objetivo é gerar energia para o consumo local, chegando a

reduzir ou eliminar a dependência das concessionárias e até mesmo produzindo excedentes. Além dessa conexão, a GD pode ser utilizada em sistemas isolados, onde não há fornecimento de rede pública, como algumas residências em áreas rurais, ilhas e comunidades isoladas (CRUZ, 2015).

De acordo com o último censo demográfico brasileiro realizado em 2010 pelo IBGE, cerca de 1,27% dos domicílios brasileiros não tinham acesso à energia elétrica. Um dos grandes motivos da existência de famílias que ainda não possuem acesso à eletricidade é pela dificuldade de transmitir essa energia para as zonas rurais e algumas áreas de difícil alcance. Dessa forma, tais residências podem ser beneficiadas pela implementação da geração distribuída, como sistema isolado, em que a demanda por energia será produzida localmente.

Como qualquer tipo de geração, seja de grande ou pequeno porte, a geração descentralizada também possui algumas desvantagens quando implantada. Dentre elas estão a maior complexidade administrativa, comercial, de planejamento e operação, sendo as mais críticas relativas à segurança e interligação com o sistema (ALMEIDA, 2010). Por esse motivo, é crucial que haja um cuidadoso planejamento tanto da construção, quanto da operação e manutenção dessa instalação, bem como orientação dos usuários do sistema quanto aos cuidados na operação e os riscos atrelados a ela.

2.2 CLASSIFICAÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Habitualmente, a geração distribuída é classificada de acordo com os tipos e tecnologias de operação. Porém, para os estudos dos impactos no sistema elétrico é mais conveniente classificá-los do ponto de vista elétrico, seja pelos diferentes tipos de potência gerada, classificações elétricas, duração do fornecimento, tecnologias renováveis e não renováveis ou aplicações elétricas (EL-KHATTAM, 2004):

- *Standby*: a geração distribuída pode ser usada como forma de reserva durante interrupções da rede para fornecer energia à cargas sensíveis, como de hospitais ou indústrias;
- Sistemas isolados: são aplicados em áreas isoladas em que os obstáculos geográficos encarecem a conexão à rede elétrica, então usa-se a geração distribuída como provedor de potência ao invés da rede convencional;

- Para cargas de pico: a geração distribuída é utilizada para suprir algumas cargas em horários de pico, visto que o custo da energia varia de acordo com as curvas de demanda e a correspondente geração disponível;
- Rurais e aplicações remotas: a potência requerida é suprida pela geração distribuída, podendo ser aplicada em iluminação, aquecimento, pequenos processos industriais e ainda podem regular a tensão da rede em cargas sensíveis de aplicações rurais conectados à rede;
- Calor e energia combinados: a geração distribuída fornece calor e energia combinados como cogeração de alta eficiência de utilização de energia, visto que o calor produzido por um combustível convertido em energia elétrica é utilizado em hospitais, indústrias e grandes áreas comerciais;
- Carga de base: são usadas como carga base para fornecer uma parcela da energia total necessária de forma a complementar a da rede, melhorando o perfil de tensão do sistema, reduzindo perdas e melhorando a qualidade;
- Duração de fornecimento e tipo de potência: o tamanho, o tipo e a aplicação da GD são fatores determinantes para a duração do fornecimento. Pode ser por um longo período, geralmente para aplicação como carga de base; fornecimento instável, como fontes renováveis ou que dependam de condições de tempo e fornece apenas potência ativa (energia eólica se inclui nessa classificação); e curto período, usado para continuidade do fornecimento da rede;
- Capacidade: Não são definidas de forma restrita, podem depender do país em questão, o usuário ou aplicações. No entanto, geralmente são classificadas em micro, mini, média e grande geração. No Brasil, são definidas apenas micro e minigeração para geração distribuída. A capacidade pode ainda ser ampliada com conexões de forma modular;
- Tipo de saída: A corrente de saída pode ser contínua ou alternada. Nos casos de CC, deve-se alimentar cargas CC ou converter a corrente para alternada, como, por exemplo, a fotovoltaica. Nos casos das turbinas eólicas, é fornecida uma corrente alternada que pode alimentar diretamente as cargas ou, em algumas aplicações, devem ser controladas utilizando equipamentos eletrônicos para regulação da tensão;

- Combustível: pode ser fóssil ou não-fóssil. Não é uma classificação usual, visto que a maior preocupação são as tecnologias emergentes de geração distribuída.

2.3 TIPOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Existem diferentes tipos de geração distribuída que podem ser caracterizadas quanto a sua construção e tecnologia aplicada (EL-KHATTAM, 2004).

Em janeiro de 2018, o Brasil ultrapassou o número de 20 mil instalações de micro ou minigeração de energia, representando mais de 300 MW de potência instalada (ANEEL, 2018c). O tipo de fonte mais aplicada pelos consumidores-geradores é a solar com 42.481 instalações, seguida da termelétrica à biomassa com 121 adesões e hidrelétrica e eólica possuem 59 e 57 aplicações, respectivamente, como pode ser observada na Tabela 3. Os dados da tabela abaixo possuem oscilações representativas em curtos períodos de tempo, como dias. Estes foram coletados em 30 de outubro de 2018.

Tabela 3: Unidades consumidoras com geração distribuída por fonte

| UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | | | |
|---|------------|---|-------------------------|
| Tipo | Quantidade | Quantidade de UCs que recebem os créditos | Potência Instalada (kW) |
| CGH | 59 | 7.418 | 53.069,08 |
| EOL | 57 | 100 | 10.314,40 |
| UFV | 42.481 | 51.613 | 427.106,19 |
| UTE | 121 | 512 | 35.257,12 |

Fonte: ANEEL, 2018d

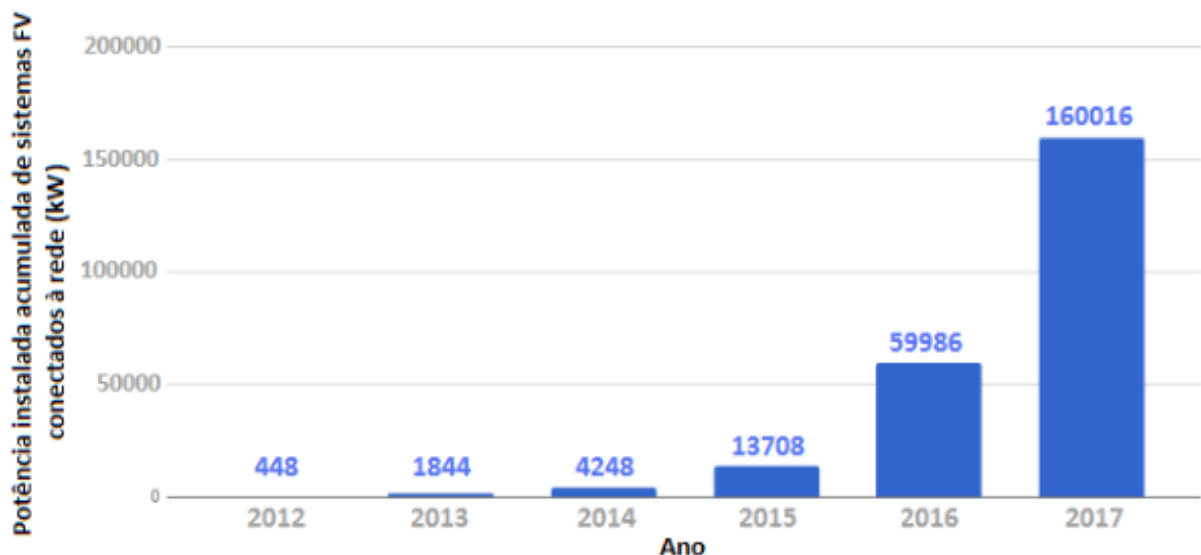
Nas subseções a seguir são comentados os quatro principais tipos de GDs renováveis aplicados no Brasil, focando na microgeração eólica, cerne deste trabalho.

2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos

Em um sistema fotovoltaico (FV) ocorre a conversão da energia solar em energia elétrica, onde as radiações eletromagnéticas são convertidas em eletricidade através do efeito fotoelétrico em um material semicondutor que é polarizado por um campo elétrico próprio. Os módulos FV são compostos por um conjunto de células fotovoltaicas, o material mais comum na fabricação dessas células é o silício e suas derivações. Os módulos são protegidos com um encapsulante frontal eletricamente isolante e resistente a vários tipos de degradação. Além do módulo FV, alguns outros itens são fundamentais para o bom funcionamento de uma instalação fotovoltaica, como: inversores, estrutura para fixação e sustentação dos módulos, caixa de junção, condutores elétricos, eletrodutos, conexões elétricas e aterramento (ALMEIDA, 2012).

Esse sistema possui maior destaque entre as aplicações de geração distribuída, onde apresentou 56,9 MW de potência instalada no ano de 2016, representando mais de 78% do total instalado de GD no Brasil (EPE, 2017). Esse rápido avanço pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4: Potência instalada acumulada de sistemas FV conectados à Rede no Brasil



Fonte: Adaptado de MHR apud ANEEL, 2018

2.3.2 Biomassa

Todo organismo biológico capaz de ser aproveitado como fonte de energia é denominado biomassa, esses organismos são formados pelos hidratos de carbono que são produzidos a partir da combinação de dióxido de carbono da atmosfera e água na fotossíntese. Quando queimada de maneira eficiente, a biomassa libera o dióxido de carbono e a água, gerando um processo cíclico e portanto renovável. Existem três tipos de biomassa, a biomassa sólida, o biocombustível líquido e o biocombustível gasoso ou biogás (MARTINS, 2004).

A biomassa sólida é originada de resíduos florestais, da agricultura e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. Sua conversão em energia se dá através de combustão direta, no próprio local de consumo. Já o biocombustível líquido possui origem em culturas com potenciais energéticos, como o biodiesel e o etanol e podem substituir total ou parcialmente combustíveis de grupos geradores (MARTINS, 2004).

Além desses tipos de biomassa aplicáveis na geração distribuída, há também o biogás, um composto gasoso que resulta da fermentação anaeróbica de materiais orgânicos encontrados em lixo e resíduos de animais, vegetais e de indústrias. Sua composição é, principalmente, de metano, dióxido de carbono e misturas de outros gases, como hidrogênio, nitrogênio, monóxido de carbono e oxigênio. O processo de obtenção de energia elétrica a partir do biogás se dá por uma combustão, convertendo a energia química contida nas moléculas em energia mecânica, sendo esta, posteriormente, convertida em energia elétrica através do uso de um gerador (COELHO, 2006).

Dentre as crescentes maneiras de obter biogás para geração distribuída no Brasil estão o aproveitamento de resíduos de ETEs e aterros sanitários, por meio de processos anaeróbios. Obtido o biogás, os processos a seguir são filtrações e as conversões de energia, como foram citadas anteriormente. Sendo uma das formas de GD, a energia gerada de microgeração por biogás pode ser consumida localmente ou pode ser injetada na rede (PROBIOGÁS, 2017) e (CETESB, 2006).

2.3.3 Hidráulica

As Pequenas Centrais Hidrelétricas, utilizadas para geração distribuída, são delimitadas para aplicações com potência instalada de 1 MW até 30 MW, desde que o reservatório não ultrapasse 3 km² para a cheia centenária. Os principais componentes das microcentrais hidrelétrica são as estruturas civis para suportar os esforços mecânicos do represamento, captação e adução de água; e os componentes hidromecânicos e eletromecânicos. O sistema de adução é geralmente feito por fio d'água, em que a capacidade do rio é mantida até mesmo nos períodos de estiagem, fazendo com que a produção seja de potência máxima. O volume do reservatório é desprezado, no entanto, deve ser projetado para conduzir água suficiente para que o vertedouro funcione durante quase todo o tempo (SCHNEIDER, 2013).

2.3.4 Eólica

A energia eólica é obtida através dos ventos, ocasionados pelo movimento das massas de ar. Sua conversão em energia elétrica se dá por meio de equipamentos eletromecânicos, dos quais o principal é o aerogerador, que é basicamente composto por uma torre de sustentação, um gerador elétrico e por um rotor, acionado normalmente por um conjunto de pás, que são responsáveis por captar o vento e acionar o gerador elétrico (CUSTÓDIO, 2013).

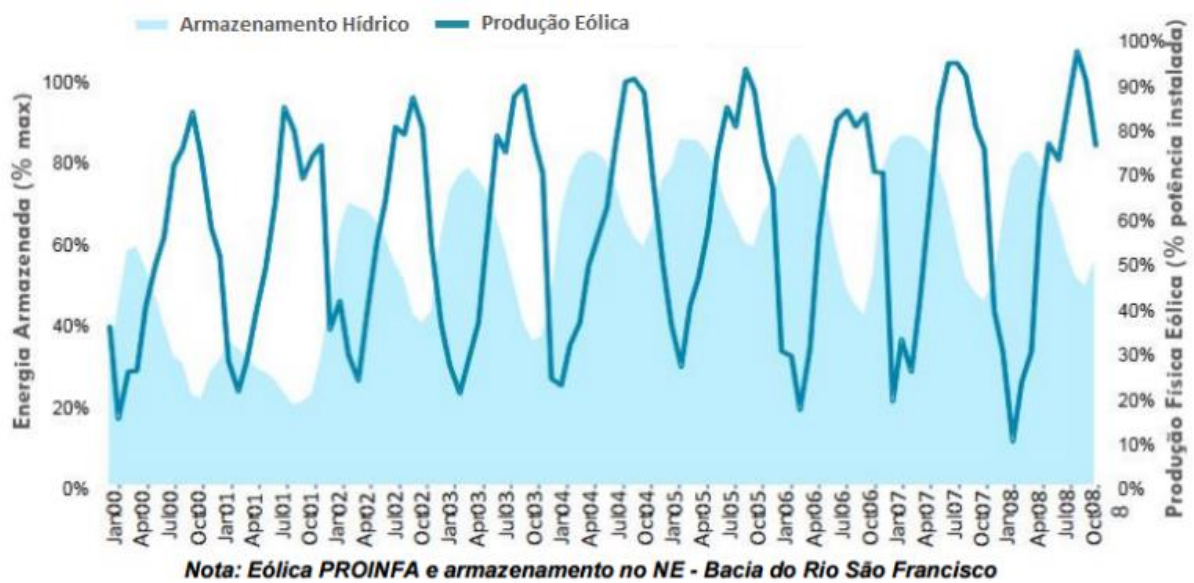
A micro e a mini geração eólica são semelhantes à modalidade em grande escala desse tipo de geração, porém consistem em sistemas de fornecimento que possuem potência para produzir energia elétrica para abastecer pequenos consumidores através de micro aerogeradores, que são similares aos de grande porte, pois também possuem geradores de eixo horizontais e verticais (CONCEIÇÃO, 2013). Estes são explicados com mais detalhes no próximo capítulo.

Os microgeradores eólicos estão localizados mais próximos do solo do que os sistemas eólicos de grande porte e possuem diversas aplicações, desde a moagem de grãos, aplicação mais antiga, até a geração de energia elétrica (INSTITUTO IDEAL, 2015). Como geração descentralizada, essa modalidade possui grande importância por diversificar a matriz energética de forma sustentável, onde os micro aerogeradores podem ser instalados por diversos consumidores, como residenciais, comerciais e

industriais, ajudando a abastecer parte ou até mesmo suprir a demanda energética destes (MOREIRA, 2010).

Para a matriz energética brasileira, que possui dependência majoritária do recurso hídrico, a geração por fonte eólica demonstra-se um aliado importante em períodos de escassez fluvial em algumas regiões como norte, nordeste e litoral sul como observado no Gráfico 5.

Gráfico 5: Relação entre o armazenamento hídrico e a produção eólica



Fonte: Adaptado de Rodrigo Mazzo, 2015

Sendo o Brasil um país com os melhores ventos do mundo, estes situados nas regiões sul, nordeste e litoral do país, a geração de energia elétrica por fonte eólica é muito atrativa para o cenário atual. Além disso, possui diversos incentivos oferecidos pelo governo do país na categoria GD, promovendo um estímulo a essa modalidade.

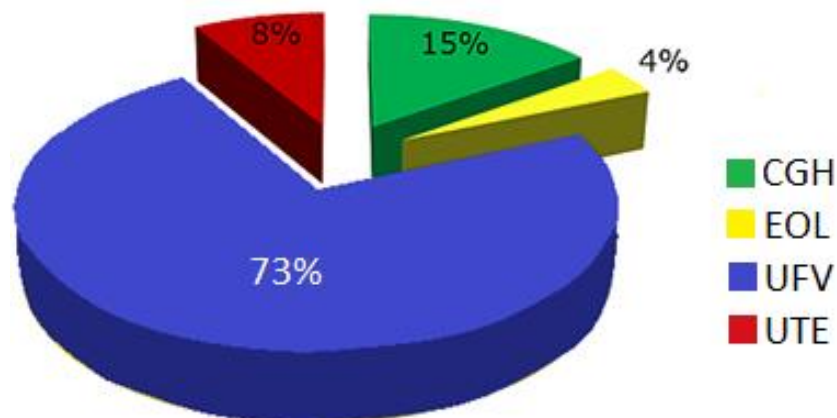
Mostrando-se muito útil na diversificação da matriz energética brasileira, a geração distribuída promove a independência dos grandes complexos de transmissão e tem um maior alcance a consumidores com dificuldade de acesso à energia elétrica da rede. Dentre as diferentes fontes de geração distribuída, a eólica é uma das que demonstra grande potencial para diversificar a matriz elétrica de forma sustentável. Buscou-se, então, fazer um estudo da viabilidade global da implantação de um microgerador eólico na região de Curitiba. Para isso, a GD por fonte eólica é exemplificada com mais detalhes no Capítulo 3.

3. ENERGIA EÓLICA NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A energia eólica na escala de micro e minigeração, distintivamente da energia eólica de elevadas potências, ainda se apresenta em fase de maturação. Muitos desafios estão atrelados a esse tipo de geração, quanto à sua regularização, à interligação com a rede, a aspectos tecnológicos e restrições de instalações, visto que são caracterizadas pela redução da potência e do tamanho dos dispositivos usados para conversão da energia (MOREIRA, 2010) e (TEIXEIRA, 2010).

Por ser uma tecnologia ainda em processo de ascensão, possui poucas instalações em funcionamento, totalizando uma baixa potência fornecida em GD se comparado com o total, como pode ser constatado no Gráfico 6.

Gráfico 6: GD por tipo de fonte de energia (potência)



Fonte: Adaptado de ABGD, 2018

Em um sistema de micro ou minigeração eólica, os principais componentes são: a micro ou mini turbina eólica, o gerador, transformador e os circuitos de eletrônica de potência (FERREIRA, 2011). Para realização do estudo da viabilidade deste sistema é necessário o dimensionamento de todos esses elementos, no entanto, em termos de teoria, neste trabalho foi dedicado um estudo mais a fundo dos tipos de micro e mini turbinas e das tecnologias de geradores de aplicação eólica.

3.1 TIPOS DE MICRO E MINI TURBINAS EÓLICAS

As turbinas eólicas se qualificam pela capacidade de captar energia cinética do vento e convertê-la em elétrica e são caracterizadas de acordo com a potência que são capazes de fornecer. A composição das microturbinas não é universalmente definida, no entanto, há uma certa convergência quanto às partes constituintes, que são, principalmente: a torre, elemento estrutural que eleva a turbina até ventos mais regulares; a cabine, onde fica alojado o gerador e outros componentes que auxiliam na conversão de energia; e o rotor, responsável por captar a energia do vento, transformando-a em energia mecânica de rotação. As configurações do rotor, quanto às pás fixadas a ele, determinação da sua forma e ângulo em relação ao vento, são definitivas para o rendimento global do sistema (MOREIRA, 2010).

Portanto, neste trabalho são abordados os tipos de turbinas quanto à disposição e configuração dos rotores.

3.1.1 Turbinas eólicas com rotores de eixo horizontal

As turbinas eólicas de eixo horizontal, exemplo ilustrado na Figura 1, possuem o eixo de rotação paralelo ao solo. São as mais difundidas no mercado de energia eólica, visto que a potência de saída e a velocidade dos rotores podem ser manejadas e a operação das pás otimizadas por meio de um sistema de controle. Além disso, possuem a vantagem de dispor uma baixa velocidade de vento de corte (*cut-in*), que é a velocidade mínima necessária para que a turbina produza potência útil (SOUSA, 2014).

Figura 1: Turbina eólica com rotor de eixo horizontal



Fonte: Instituto IDEAL, 2015

As diversas classificações das turbinas de eixo horizontal podem ser quanto: a sua orientação, tipo de *hub* (parte frontal de um aerogerador), sistema de controle, número de pás e o modo como se alinha à direção do vento. Dentre as orientações possíveis estão *upwind*, que recebe o vento em sua frente ou *downwind*, em que o vento é recebido em sua parte de trás. Os tipos de *hub* podem ser rígidos ou oscilantes, ou seja, no segundo caso rotacionam junto às pás. Quanto ao sistema de controle, podem ter o controle da potência por *pitch*, em que é alterado o ângulo de passo para atingir a potência requerida; ou podem ser controlados por *stall*, em que as pás estão posicionadas fixamente em um ângulo de ataque que pode causar turbulências, diminuindo a velocidade e aumentando a pressão. Com relação ao número de pás, podem possuir uma (acompanhada de um contrapeso), duas, três ou múltiplas pás, sendo as mais comuns de duas ou três. Quanto ao alinhamento das turbinas em relação à direção do vento, que pode ser entendido também como forma de controle, em que a turbina faz o movimento de guinada (*yaw*) para atingir melhores ventos, podendo o *yaw* ser ativo ou passivo (FLECK, 2012; RODRIGUES, 2014).

Na aplicação de turbinas eólicas em grande escala, existe certa complexidade para elevar todos os componentes da turbina até o topo da torre, onde os equipamentos devem estar alocados (SUEHARA, 2016). Da mesma forma que na

geração eólica de grande porte, as micro e mini turbinas eólicas também possuem uma torre de sustentação, no entanto, são em proporções bem menores, facilitando a sua instalação.

3.1.2 Turbinas eólicas com rotores de eixo vertical

As turbinas eólicas de eixo vertical possuem o eixo de rotação perpendicular ao solo. Uma das vantagens da utilização desse tipo de turbina é que não é necessário um sistema de controle para orientação na direção dos ventos e, além disso, as máquinas pesadas fundamentais para as conversões de energia podem ficar no solo, facilitando a instalação e manutenções. Em compensação, a proximidade ao solo leva a turbina a receber ventos com velocidades menores e mais instáveis, além do que as turbinas não possuem partida própria ou sistemas de controle de potência (SOUSA, 2014).

Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus e Savonius, sendo o primeiro mais aplicável em geração de energia elétrica (MOREIRA, 2009) e que teve melhores resultados no quesito comercial (PINTO, 2013). Na Figura 2, são mostrados alguns dos diferentes tipos de turbinas com rotor de eixo vertical.

Figura 2: Turbinas eólicas com rotor de eixo vertical. Na sequência: a) Savonius, b) Darrieus e c) H-Darrieus



Fonte: a) Pixabay, 2018; b) Wikipedia, 2018; c) Teknikicerik, 2017

O rotor Darrieus possui duas ou três pás, assim como as turbinas de eixo horizontal, no entanto, apresentam uma curvatura em formato de catenária. Devido a sua característica de serem deficientes nas partidas de funcionamento, precisam de um motor para realizar a partida. Já o rotor Savonius possui as pás em formato de “s”. Caracteriza-se por possuir elevado torque e baixa rotação, por isso é possível operar com ventos de baixas velocidades. São muito úteis para aplicações em sistemas de baixa potência, no entanto possui problemas com proteção a rajadas de vento e apresenta baixa eficiência (PINTO, 2013) e (SOUSA, 2014).

Outro tipo de rotor vertical aplicável na geração distribuída é o H-Darrieus, que ao contrário do rotor Darrieus possui pás em linha reta que são conectadas ao eixo de rotação por suportes. O rotor tipo H é mais eficiente que o rotor Darrieus pois a área de interceptação do vento é um retângulo, maior portanto do que uma elipse. Além disso, os modelos de rotores H-Darrieus que possuem motores sem núcleo não necessitam de aceleração inicial e são muito silenciosos (SOUSA, 2014) e (INSTITUTO IDEAL, 2015).

3.2 TECNOLOGIAS DE GERADORES PARA APLICAÇÃO EÓLICA

Para o correto dimensionamento dos componentes de geração eólica em pequena e grande escala, é necessária uma apropriada definição dos aerogeradores não só quanto ao eixo do rotor, mas também quanto à sua tecnologia. Basicamente, existem duas diferentes formas de operação de sistemas eólicos: com a turbina operando a uma velocidade fixa, composta de um rotor de baixa velocidade rotacionando pela ação dos ventos nas pás, um multiplicador de velocidades e rotor de alta velocidade conectado ao gerador; ou com a turbina operando a uma velocidade variável, a qual possui vantagem em relação a anterior por permitir sua ligação à rede de energia elétrica e, por esse motivo, são as mais aplicadas atualmente na modalidade de geração eólica (BICALHO, 2013).

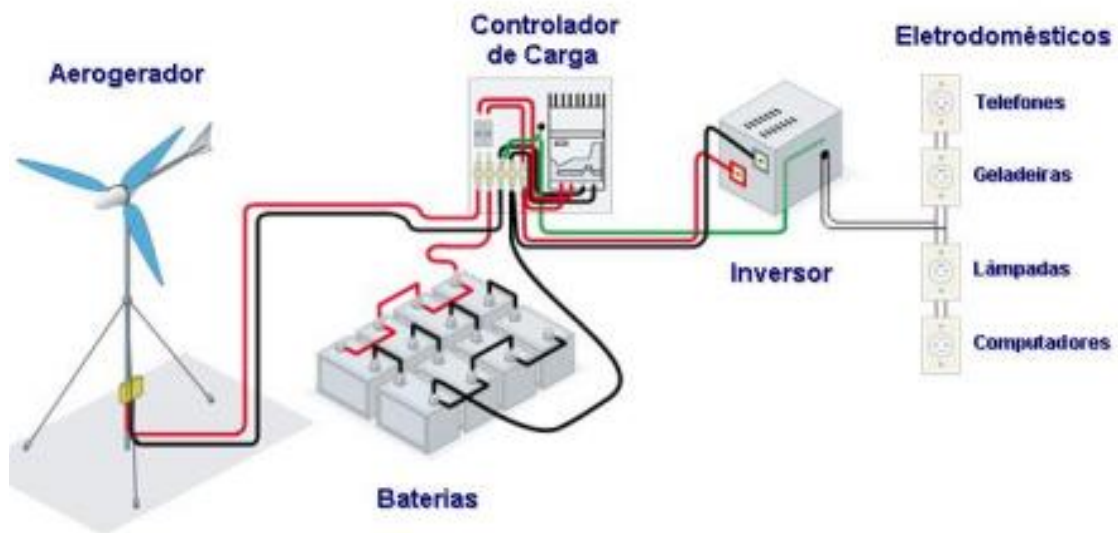
Para aerogeradores com turbina operando a velocidades variáveis, pode-se utilizar as tecnologias com caixa de velocidade: geradores de indução duplamente alimentados ou geradores de indução com rotor bobinado; e sem caixa de velocidade: geradores síncronos de rotor bobinado ou geradores síncronos multipolares de ímãs permanentes (FERREIRA, 2011).

Após a realização da análise dos dados a serem apresentados no capítulo 6, é escolhido o gerador mais apropriado tecnicamente para a implantação deste estudo.

3.3 CONEXÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO EÓLICA À REDE ELÉTRICA

Os sistemas de microgeração eólica podem ser dimensionados de acordo com a autonomia desejada, ou seja, podem funcionar em rede isolada ou serem interligados ao sistema de distribuição. No caso dos sistemas isolados, ilustrados na Figura 3, é necessário um sistema de armazenamento de energia, para períodos de escassez da fonte primária (FARIA, 2010).

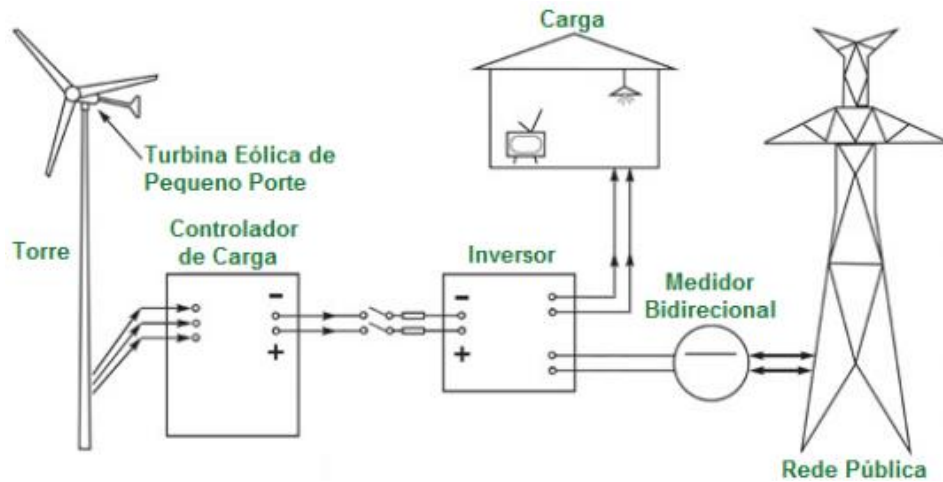
Figura 3: Configuração de um sistema eólico isolado



Fonte: Dutra, 2008

Já nos sistemas interligados à rede de distribuição, ilustrados na Figura 4, pode não ser necessário esse sistema de armazenamento, pois o produtor em pequena escala trabalha em paralelo com a distribuidora, ou seja, quando a produção exceder o consumo de energia, esta será utilizada pela concessionária, que depois descontará da fatura do consumidor; da mesma forma, quando o consumo for superior a produção, a distribuidora fornecerá a energia necessária para alimentar as cargas (FARIA, 2010).

Figura 4: Configuração de um sistema eólico conectado à rede



Fonte: Cruz, 2015

O elemento principal de interligação com a rede é o ponto de conexão comum (PCC). Neste ponto, geralmente são instalados instrumentos de medição e são realizadas análises quanto aos impactos da inserção de potência gerada por fonte eólica no sistema elétrico. O tipo de conexão no PCC depende diretamente da potência a ser injetada na rede e do nível de tensão em questão. Nos casos de sistema de GD a operação é em baixa ou média tensão (NEVES, 2014).

De acordo com o § 1º do art. 4º da resolução normativa nº 482/2012, para integrar-se ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica o terreno em que se deseja instalar um micro ou minigerador eólico necessita possuir potência disponibilizada no mínimo igual à potência do gerador a ser instalado. Além disso, o proprietário, ou o responsável pelo imóvel, deve solicitar conexão junto à distribuidora local como unidade consumidora.

Tanto no caso de sistema isolado, quanto de conexão com a rede elétrica, há a necessidade do dimensionamento dos componentes de cada conjunto para seu melhor funcionamento. Para isso, são necessárias coletas de informações das velocidades e direção dos ventos de uma determinada região e uma avaliação do consumo energético do local em que se deseja instalar o sistema de micro ou minigeração eólica.

Conhecidos os tipos de turbinas, tecnologias de geradores e as formas de instalação (isolado e conectado à rede), é possível realizar esses estudos mais a fundo nos próximos capítulos, de forma a averiguar a viabilidade de instalação da geração descentralizada por fonte eólica na região de Curitiba.

4. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DO RECURSO EÓLICO

Essencialmente, o potencial eólico de um local é expresso considerando dois principais parâmetros: a velocidade em m/s e a direção dos ventos em graus. Além disso, devem ser realizados estudos relacionados ao relevo da região escolhida já que a intensidade do vento não é regular e a sua disponibilidade depende do local de instalação (MOREIRA, 2010).

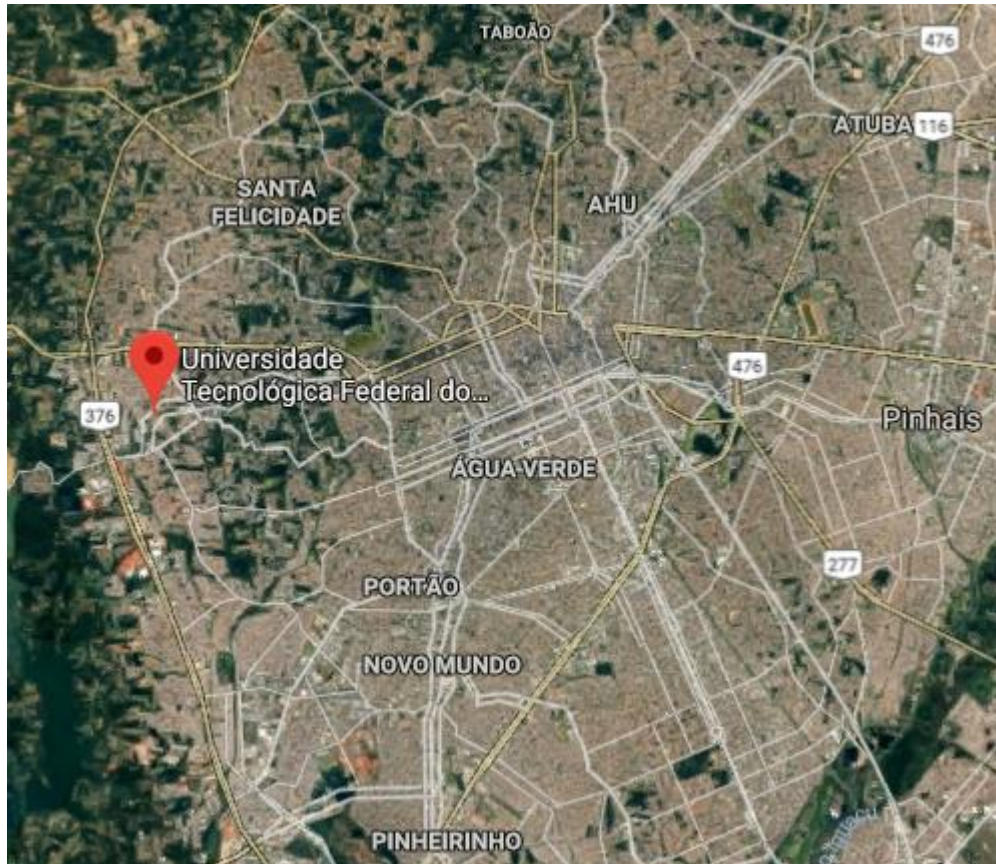
A referência aproximada para que um sistema de geração eólica seja considerado tecnicamente aproveitável é a densidade de energia, que deve ser maior ou igual a 500 W/m^2 a 50 m de altura, correspondente a uma velocidade mínima de 7 a 8 m/s nessa mesma altura (ANEEL, 2005 apud GRUBB; MEYER, 1993). De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia, a parcela do mundo que possui ventos tecnicamente aproveitáveis corresponde a apenas 13% da superfície terrestre a 50 m de altura (ANEEL, 2005).

Por mais que os parâmetros de bons ventos sejam a alturas acima de 50 m, neste trabalho o estudo considerou a possibilidade de implantação de um micro aerogerador a aproximadamente 12 m de altura, no estacionamento do *campus* Ecoville da UTFPR - Curitiba. Portanto, as velocidades dos ventos a essa altura são menores e mais turbulentas se comparadas às velocidades no mesmo local a 50 m.

4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL ESCOLHIDO PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE

O *campus* Ecoville da UTFPR está situado no bairro Campo Comprido, região oeste do município de Curitiba, com coordenadas geográficas $25^{\circ}26'35.8''$ sul e $49^{\circ}21'12.2''$ oeste. Na Figura 5, o local está indicado com o alfinete vermelho.

Figura 5: Localização do local escolhido para o estudo: *campus* UTFPR Ecoville



Fonte: Google Maps, 2018

Como observado na Figura 5, o *campus* Ecoville da UTFPR está situado praticamente no extremo oeste do município da região urbana, isso implica em uma vantagem do local para instalação de geração eólica, visto que não possui muitas construções de alta estatura em seu entorno, quando comparado ao *campus* Centro da Universidade, o que diminui os obstáculos para a passagem dos ventos.

O *campus* é composto por prédios de, em média, 17 m de altura, distribuídos ao longo de sua área. Porém, para ser possível instalar um aerogerador na cobertura de uma construção, esta deve ser projetada e construída para ancorar a torre do equipamento. Como as edificações do *campus* Ecoville foram construídas sem esse reforço na estrutura, o estudo da instalação foi realizado na área do estacionamento ao lado dos blocos L, M e N da universidade, com o micro aerogerador instalado com a torre de sustentação estaiada fornecida pelo fabricante, a uma altura de 12 metros. A localização da possível instalação do micro aerogerador, circulada em vermelho, pode ser visualizada na Figura 6 a seguir.

Figura 6: Vista superior do estacionamento ao lado dos blocos L, M e N da UTFPR *campus* Ecoville



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2018

Na figura 7 é apresentada uma foto panorâmica do estacionamento.

Figura 7: Estacionamento ao lado dos blocos L, M e N da UTFPR *campus* Ecoville



Fonte: Os autores

O estacionamento possui aproximadamente 57,4 metros de largura e 85,2 metros de comprimento, medidas realizadas em campo com uma trena a laser, onde o aerogerador ocuparia uma área de 144 m², conforme projeto de fundação da torre

estaiada de 12 metros de altura apresentado na Figura 8, fornecido pelo fabricante da turbina.

Figura 8: Gabarito de fundação e torre estaiada de 12 metros



Fonte: Enersud, 2018

4.2 PARÂMETROS ESSENCIAIS PARA PROJEÇÃO DE UM POTENCIAL EÓLICO

Para que o potencial eólico de uma região seja estimado, é essencial que alguns parâmetros sejam coletados, como a velocidade e a direção dos ventos, rugosidade, densidade do ar, existência de obstáculos e dados sobre o relevo. Quanto mais detalhadas as informações e dados relacionados a esses parâmetros, mais assertiva será a projeção do potencial. No entanto, esses estudos para averiguar o potencial eólico são frequentemente mais custosos que a própria turbina e sua implementação. No Brasil, são escassos os dados consistentes e confiáveis, sendo um dos complicadores dos investimentos em geração eólica (AMARANTE, 2001) (MOREIRA, 2010).

Por esses motivos, este trabalho levará em consideração apenas o estudo do potencial eólico de Curitiba, calculados a partir da capacidade de cada turbina, com dados de velocidade e direção dos ventos cedidos pelo SIMEPAR, e uma breve

abordagem das características do relevo da região selecionada, demonstrados a seguir.

4.2.1 Velocidade dos ventos no município de Curitiba

Os dados de velocidade e direção dos ventos empregados neste estudo foram cedidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), coletados em uma estação localizada no bairro Jardim das Américas do município de Curitiba (latitude - 25,4519°, longitude -49,2373°), mas que são usados como referência para todo o município. As medições foram realizadas a uma altura de 10 metros, com periodicidade diária, por um período de um ano (Abril/2017 a Março/2018).

Na Tabela 4 são demonstrados os meses com a pior e a melhor média de velocidade dos ventos para toda a região de Curitiba. A tabela completa com todos os dados do período considerado está no Apêndice A.

Tabela 4: Médias de velocidade diária do pior e melhor mês

| Data | Velocidade diária (m/s) | Média mensal (m/s) | Data | Velocidade diária (m/s) | Média mensal (m/s) |
|------------|-------------------------|--------------------|------------|-------------------------|--------------------|
| 01/07/2017 | 1,535 | 1,680 | 01/10/2017 | 3,616 | 2,433 |
| 02/07/2017 | 2,570 | | 02/10/2017 | 4,327 | |
| 03/07/2017 | 2,789 | | 03/10/2017 | 3,088 | |
| 04/07/2017 | 3,378 | | 04/10/2017 | 2,118 | |
| 05/07/2017 | 1,591 | | 05/10/2017 | 2,223 | |
| 06/07/2017 | 1,171 | | 06/10/2017 | 2,322 | |
| 07/07/2017 | 1,288 | | 07/10/2017 | 2,370 | |
| 08/07/2017 | 1,523 | | 08/10/2017 | 2,089 | |
| 09/07/2017 | 1,550 | | 09/10/2017 | 2,322 | |
| 10/07/2017 | 1,224 | | 10/10/2017 | 1,289 | |
| 11/07/2017 | 0,948 | | 11/10/2017 | 2,076 | |
| 12/07/2017 | 1,252 | | 12/10/2017 | 2,442 | |
| 13/07/2017 | 1,707 | | 13/10/2017 | 2,083 | |
| 14/07/2017 | 1,428 | | 14/10/2017 | 1,828 | |
| 15/07/2017 | 2,019 | | 15/10/2017 | 2,655 | |
| 16/07/2017 | 2,842 | | 16/10/2017 | 2,828 | |
| 17/07/2017 | 2,554 | | 17/10/2017 | 2,486 | |
| 18/07/2017 | 2,143 | | 18/10/2017 | 1,996 | |
| 19/07/2017 | 1,416 | | 19/10/2017 | 2,660 | |
| 20/07/2017 | 1,280 | | 20/10/2017 | 2,277 | |
| 21/07/2017 | 1,565 | | 21/10/2017 | 2,460 | |
| 22/07/2017 | 1,730 | | 22/10/2017 | 2,721 | |
| 23/07/2017 | 1,749 | | 23/10/2017 | 2,497 | |
| 24/07/2017 | 1,585 | | 24/10/2017 | 2,325 | |
| 25/07/2017 | 1,025 | | 25/10/2017 | 2,058 | |
| 26/07/2017 | 0,911 | | 26/10/2017 | 2,008 | |
| 27/07/2017 | 1,375 | | 27/10/2017 | 2,873 | |
| 28/07/2017 | 1,983 | | 28/10/2017 | 3,836 | |
| 29/07/2017 | 1,556 | | 29/10/2017 | 2,146 | |
| 30/07/2017 | 1,369 | | 30/10/2017 | 1,477 | |
| 31/07/2017 | 1,023 | | 31/10/2017 | 1,930 | |

Fonte: Os autores

É possível notar que as velocidades médias de ambos os meses são bem abaixo da velocidade considerada tecnicamente aproveitável para geração eólica (acima de 7 m/s), no entanto, existem aerogeradores projetados para dispor um melhor aproveitamento a velocidades reduzidas (SILVA, 2009).

Foram selecionados três tipos de micro aerogeradores, que são abordados no Capítulo 5, sendo que todos eles seriam instalados a uma altura aproximada de 12 m, ou seja, dois metros acima das velocidades coletadas pelo SIMEPAR. Desta forma, os valores das velocidades apresentam um tímido aumento, que mesmo que seja pequeno, foi considerado no estudo de modo a torná-lo mais assertivo.

Para o cálculo dos valores de velocidade em diferentes alturas, utiliza-se a Lei de Hellman (KALOGIROU, 2016), expressa na equação (1).

$$V_{h2} = V_{h1} * \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (1)$$

Onde:

h_1 = Altura medida pela estação meteorológica;

h_2 = Altura de interesse;

V_{h1} = Velocidade do vento na altura medida;

V_{h2} = Velocidade do vento na altura de interesse;

α = Expoente de Hellman.

O expoente de Hellman (α) depende de alguns fatores, como a estabilidade do ar, a natureza da superfície, temperatura, estação, hora do dia e rugosidade da superfície (KALOGIROU, 2016). A constante α pode ser obtida pela relação (LYSEN, 1983) da equação (2).

$$\alpha = 0,096[\ln(z_0)] + 0,016[\ln(z_0)]^2 + 0,24 \quad (2)$$

Onde:

α = Expoente de Hellman;

z_0 = Comprimento de rugosidade.

O comprimento de rugosidade (z_0) expresso em metros, corresponde a altura em que a velocidade do vento é igual a zero (CUSTÓDIO, 2013). A Tabela 5 a seguir mostra os valores do comprimento de rugosidade de acordo com o perfil do local.

Tabela 5: Classes de rugosidade

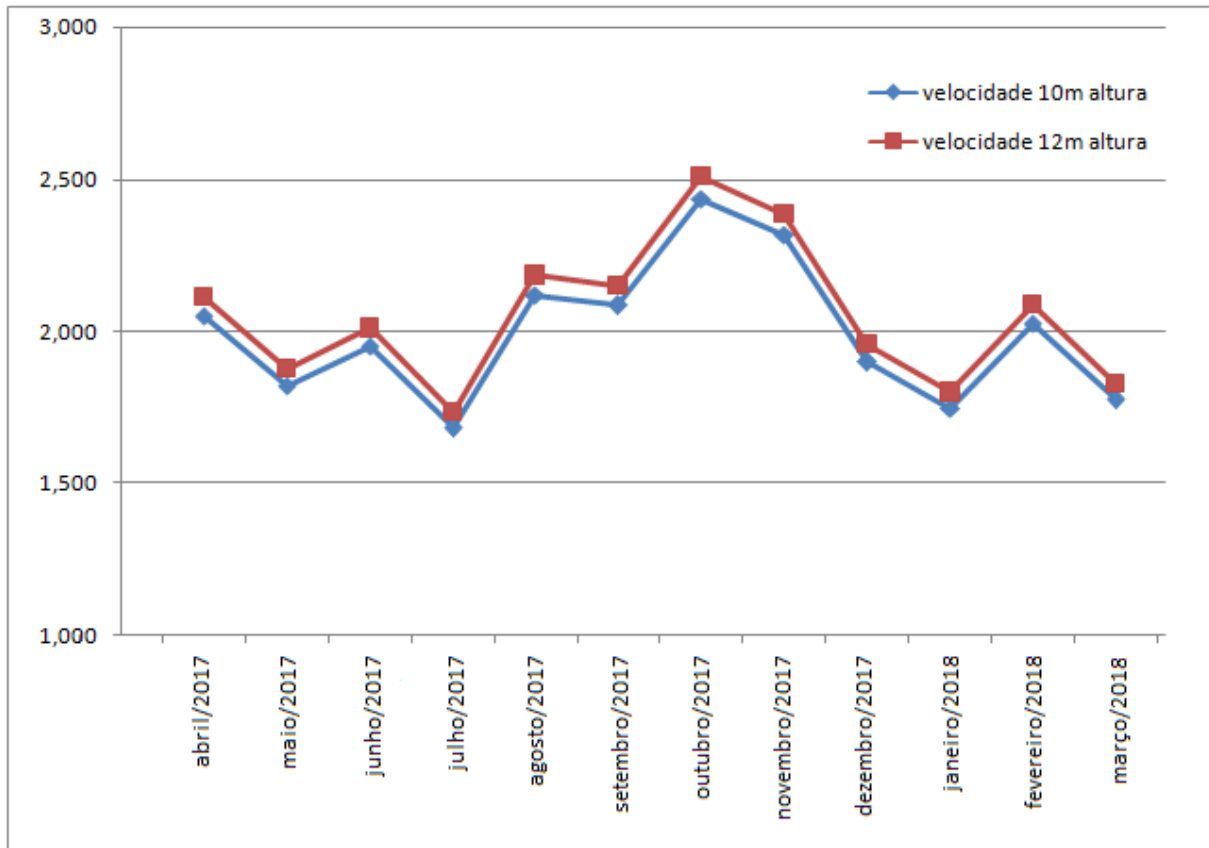
| <i>Classe</i> | <i>z_0 [m]</i> | <i>Tipo de área</i> |
|---------------|-----------------------------|--|
| 0 | 0,0002 | Com água, tais como mares e lagos |
| 1 | 0,03 | Aberta com poucos quebra-ventos, plana ou levemente ondulada, podendo apresentar simples fazendas e árvores ou arbustos. |
| 2 | 0,1 | Terrenos com quebra-ventos afastados a mais de 1000m entre si, e algumas construções espalhadas; caracterizados por grandes áreas abertas entre alguns quebra-ventos, com uma paisagem aberta; o terreno pode ser plano ou ondulado. |
| 3 | 0,4 | Áreas urbanas, florestas e terrenos com muitos quebra-ventos de separação média de poucas centenas de metros. |

Fonte: Custodio, 2013

O local selecionado para o estudo se enquadra na Classe 3 - Área urbana com muitos quebra-ventos, ou seja, possui um valor de comprimento de rugosidade de 0,4 m. A partir deste valor, foram calculados o expoente de Hellman e as velocidades dos ventos na altura de 12 m.

O gráfico 7, ilustrado a seguir, mostra um comparativo entre os valores de velocidade média mensal a 10 m de altura fornecidos pelo SIMEPAR e os valores calculados para a altura de 12 m, que possivelmente será instalado o micro aerogerador. Apesar de serem pequenas as variações de velocidade entre as duas alturas, tornam o estudo mais assertivo e fazem diferença quando se trata do arranque dos aerogeradores que são abordados no Capítulo 5. Os valores diários de velocidade dos ventos a uma altura de 12 m estão exibidos no Apêndice A.

Gráfico 7: Média da velocidade no mês para as alturas de 10 metros e 12 metros



Fonte: Os autores

4.2.2 Direção dos ventos no município de Curitiba

A direção dos ventos, expressa em graus, é um dos pontos determinantes na escolha do micro aerogerador e de qual será a sua orientação na instalação. Os valores correspondentes, em graus, a cada uma das coordenadas são: Norte - 0°; Leste - 90°; Sul - 180°; e Oeste - 270°.

Na região de Curitiba, os valores de direção dos ventos se intercalam de forma aleatória ao longo do ano, sendo que os valores que predominam são: 45°, 90° e 315°. A direção dos ventos impacta diretamente na escolha na direção que o micro aerogerador está posicionado e na escolha do eixo do rotor, sendo que os de eixo horizontal podem ter mobilidade em sua direção, ou seja, ele irá rotacionar em torno do eixo vertical para captar o vento o mais perpendicular possível. Já para os micro aerogeradores de eixo vertical, independente da direção do vento, este será captado se estiver a uma velocidade mínima estipulada pelo fabricante. Os valores de direção dos ventos, em graus, estão exibidos no Apêndice B.

4.2.3 Relevo do município de Curitiba

Curitiba está localizada no Estado do Paraná, no primeiro planalto do estado, a uma altitude média de 934,6 m (FANINI, 2008). A Figura 9 mostra a localização do município e destaca a região da cidade em que foi realizado o estudo da viabilidade de implantação do micro aerogerador, o Bairro Campo Comprido.

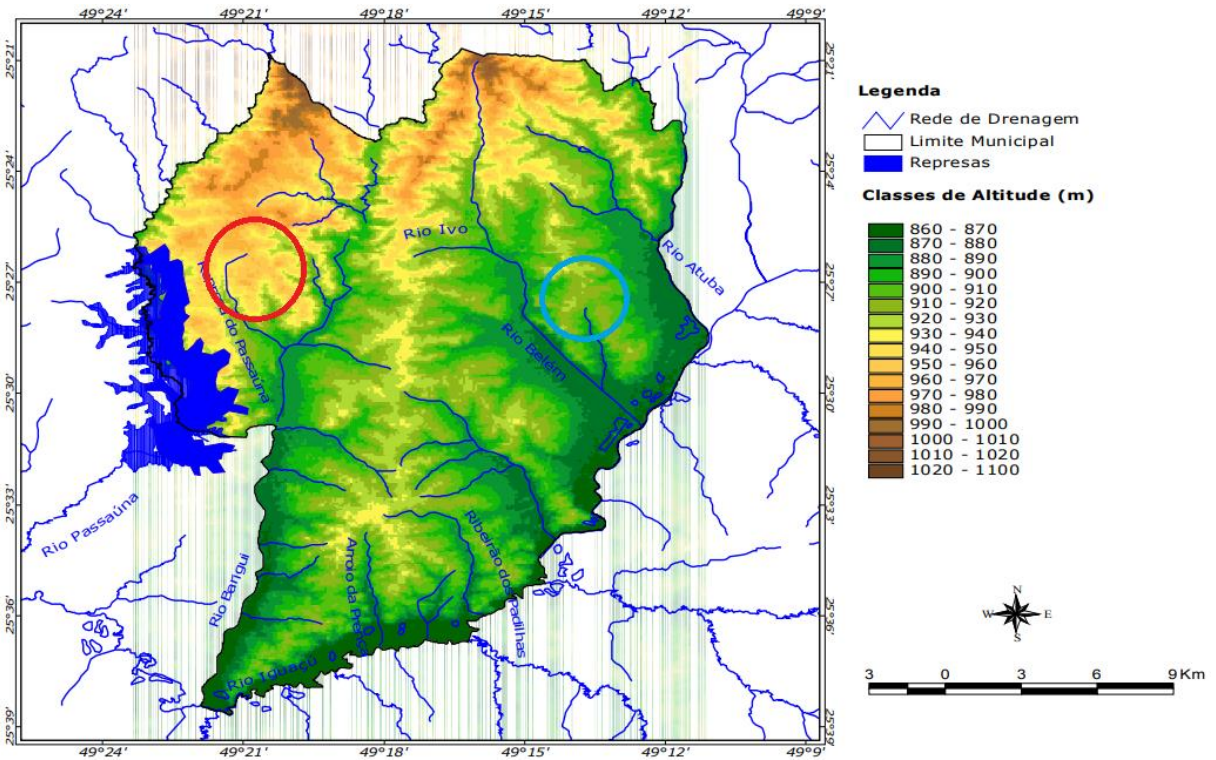
Figura 9: Mapa para localização da região de implementação do micro aerogerador



Fonte: Adaptado de Wikipedia, 2007

Curitiba é caracterizada por uma topografia de relevo com colinas suavemente arredondadas, ou seja, é levemente ondulado, atribuindo à cidade um aspecto relativamente regular (FANINI, 2008). Na Figura 10, nota-se que o bairro Campo Comprido circulado em vermelho, onde se situa o *campus* Ecoville da UTFPR, fica em uma das regiões do município com os maiores níveis de altitude, sendo essa uma vantagem em relação às áreas mais baixas, visto que possui menos obstáculos naturais no seu entorno.

Figura 10: Mapa de relevo do Município de Curitiba



Fonte: Adaptado de Fanini, 2008

É válido salientar que os dados fornecidos pelo SIMEPAR foram colhidos no bairro Jardim das Américas, situado aproximadamente na área circunscrita em azul da Figura 10. Observa-se que esta área possui menor altitude que a região escolhida para o estudo e, portanto, a ocorrência dos ventos é diferente entre os dois locais. No entanto, a diferença entre a incidência do vento devido a localização não foi mensurada neste estudo, partindo da premissa de que os dados cedidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná valem para toda a região de Curitiba.

Além dos parâmetros já apresentados para a projeção do potencial eólico da região, é necessário conhecer a potência de geração de cada micro aerogerador possível. Estas informações são apresentadas no Capítulo 5.

5. DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO LOCAL ESCOLHIDO

Existem algumas ferramentas para obtenção do potencial de uma região, como *softwares* e equações generalizadas que utilizam parâmetros de determinado local para calcular a potência que o aerogerador pode fornecer. A equação geral que rege o cálculo da potência que um aerogerador genérico extrai dos ventos é obtida multiplicando a equação da potência do vento pelo coeficiente de potência, que caracteriza o nível de rendimento da turbina (AMARAL, 2011). A equação (3) de potência disponível no vento está demonstrada a seguir.

$$P_v = \frac{1}{2} * \rho * A * v_1^3 \quad (3)$$

Onde:

P_v = Potência média do vento (W);

ρ = Densidade do ar;

A = Área de varredura do rotor (m²);

v_1 = Velocidade média do vento (m/s).

A partir da equação (3) que fornece a potência média do vento, calcula-se a potência extraída pela turbina, já considerando as perdas mecânicas de operação (AMARAL, 2011), de acordo com a equação (4).

$$P_t = C_p * P_v \quad (4)$$

Onde:

P_t = Potência extraída pela turbina (W);

C_p = Coeficiente de potência;

P_v = Potência média do vento (W).

Apesar da Equação (4) já considerar possíveis perdas no decorrer da operação de uma turbina eólica, este cálculo não leva em conta as diferentes especificações de cada turbina, o que deixa a estimativa do potencial menos assertiva, ainda mais para os tipos de turbinas selecionados para este trabalho, que possuem características

diferenciadas em função da obtenção de energia em pequena escala. Portanto, as equações (3) e (4) não foram consideradas no cálculo do potencial da região escolhida neste trabalho.

Existem, então, inúmeros *softwares* para determinação do potencial eólico de uma região, dentre eles alguns gratuitos que foram adquiridos para esses cálculos do potencial. No entanto, foi constatado que essas ferramentas também utilizavam modelos genéricos de obtenção do potencial, sem levar em consideração as particularidades de cada turbina.

Sendo assim, não foi utilizado nenhum *software* neste trabalho. Para a determinação do potencial eólico da região foram coletadas as informações técnicas de três micro aerogeradores e, a partir dos dados contidos no *datasheet*, apresentados no Anexo A, obteve-se uma equação de cálculo da potência para cada modelo de turbina, por meio de uma regressão não linear.

A seguir são apresentados os três modelos possíveis para aplicação e, posteriormente, apresentados os cálculos do potencial da região e a escolha do aerogerador que melhor se aplica para o caso.

5.1 MODELOS DE AEROGERADORES

Visto que trata-se de um ambiente de estudos, o aerogerador a ser instalado no prédio do *campus* Ecoville deve, além de alcançar uma potência de geração significativa, ser silencioso.

Para alcançar um índice aceitável de geração de energia é necessário relacionar modelos diferentes de aerogeradores com os parâmetros apresentados no Capítulo 4. A partir desses resultados, é possível definir a turbina mais adequada para a provável instalação.

Foram selecionados três modelos distintos de micro geradores eólicos, sendo todos de um mesmo fornecedor brasileiro e, portanto, de mais fácil aquisição.

5.1.1 Gerar 246

É uma turbina de eixo horizontal com alto rendimento aerodinâmico, alcançando até 1000 W de potência e 740 rpm de rotação a 12,5 m/s. Possui três pás,

do tipo torcida, e a velocidade de partida é de 2 m/s. Esse aerogerador pode atender a uma residência de consumo médio, demandas como estações de bombeamento de água, iluminação pública de condomínios ou residências, entre outras aplicações. Além disso, o GERAR 246, pode ser aplicado tanto para sistemas isolados quanto para sistemas conectados à rede por meio de inversores de potência (ENERSUD, 2018).

5.1.2 Razec 266

É uma turbina de eixo vertical, tipo H-Darrieus, que gera baixo ruído, é adequada para ventos turbulentos e direção variável, e apresenta baixa velocidade rotacional, por esses motivos é ideal para ambientes urbanos, já que são características típicas desse tipo de localização. A turbina alcança até 1500 W de potência e 180 rpm de rotação a uma velocidade de 12 m/s, possui três pás com velocidade de partida de 2,5 m/s e suas aplicações são as mesmas que a da turbina Gerar 246 (ENERSUD, 2018).

5.1.3 Verne 555

É uma turbina eólica de eixo horizontal, desenvolvida para atender às necessidades do consumo individual. Ideal para a alimentação energética de pequenos conjuntos residenciais, demandas industriais e rurais, podendo até mesmo suprir o consumo de energia de localidades isoladas. A Verne 555 pode alcançar uma potência de até 6 kW e rotação de 240 rpm a uma velocidade de 12 m/s, possui três pás e velocidade de partida de 2,2 m/s. Como as outras duas turbinas, pode ser aplicada em sistemas isolados ou conectados à rede (ENERSUD, 2018).

Na Figura 11 a seguir são demonstrados os três modelos de micro aerogeradores cotados para o estudo de viabilidade.

Figura 11: Da esquerda para a direita, turbinas Gerar 246, Razec 266 e Verne 555



Fonte: Enersud, 2018

5.2 REGRESSÕES NÃO LINEARES PARA OBTENÇÃO DA POTÊNCIA FORNECIDA MENSALMENTE POR CADA MICRO AEROGERADOR

Para determinação da potência que cada um dos aerogeradores fornece mensalmente, foram realizadas regressões não lineares dos valores de kWh/mês, encontrados no *datasheet* dos micro aerogeradores, cedidos pelo fornecedor, de acordo com diferentes velocidades e alturas, utilizando uma planilha. Definida uma altura de instalação de 12 m, utilizaram-se apenas os valores de potência a essa altura, de acordo com diferentes velocidades. Na Tabela 6, são mostrados esses dados para cada modelo. Os *datasheets* completos estão disponíveis no Anexo A.

Tabela 6: Produção de energia em kWh/mês para a altura de 12 metros

| PRODUÇÃO DE ENERGIA GERAR 246 (kw.h/mês) | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Altura / Velocidade | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s |
| 12 m | 56 | 75 | 97 | 119 | 142 | 185 | 219 | 243 | 258 | 264 |

| PRODUÇÃO DE ENERGIA RAZEC 266 (kw.h/mês) | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Altura / Velocidade | 4,0 m/s | 4,5 m/s | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s |
| 12 m | 31 | 47 | 66 | 89 | 115 | 144 | 174 | 235 | 291 | 335 | 367 | 387 |

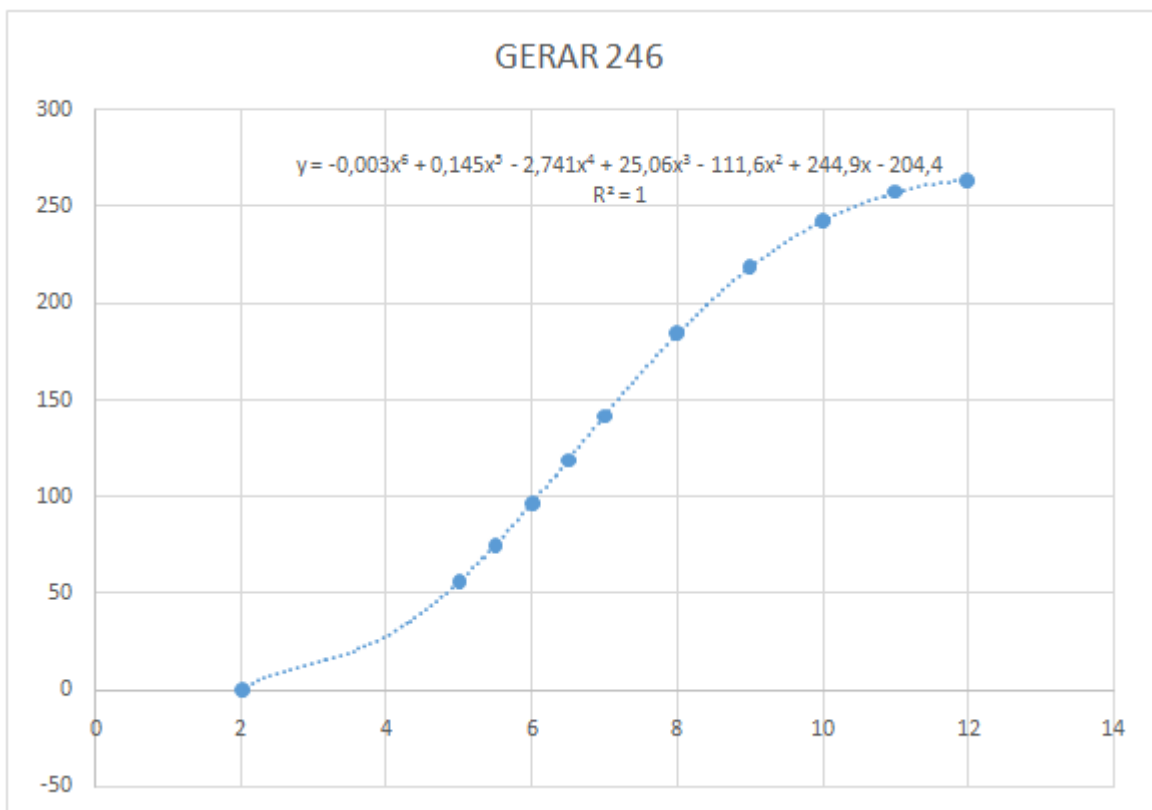
| PRODUÇÃO DE ENERGIA VERNE 555 (kw.h/mês) | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Altura / Velocidade | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s |
| 12 m | 372 | 491 | 624 | 767 | 916 | 1217 | 1493 | 1726 | 1903 | 2024 |

Fonte: Adaptado de Enersud, 2018

5.2.1 Regressão não linear - GERAR 246

Os valores referentes ao micro aerogerador GERAR 246 contidos na Tabela 6 foram inseridos em uma planilha e posteriormente foi criado um gráfico de dispersão. A partir deste gráfico, foi adicionada uma linha de tendência e a que mais se aproximou do formato da dispersão foi uma equação polinomial de sexto grau. A melhor aproximação de uma função é dada por um valor de R^2 , quanto mais essa constante se aproxima de 1, maior a assertividade nessa adequação. A curva obtida e a equação para o cálculo da potência fornecida são demonstrados no Gráfico 8 a seguir.

Gráfico 8: Curva e equação da potência em kWh/mês que o micro aerogerador GERAR 246 fornece a 12 m de altura em função da velocidade dos ventos em m/s



Fonte: Os autores

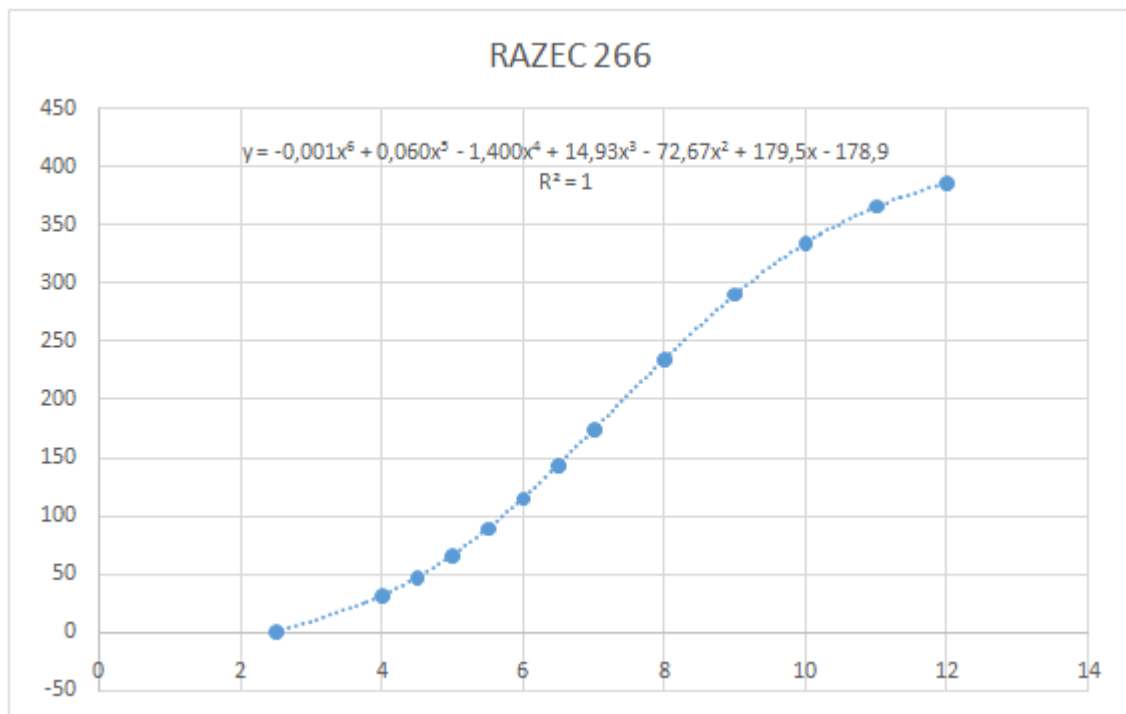
A partir da equação obtida por regressão não linear, foram calculados os valores de potência fornecida pelo GERAR 246 durante todos os dias de um ano, desde 01 de abril de 2017 a 31 de março de 2018, totalizando um valor de 49,638 kWh no período citado. A partir deste valor, calculou-se a média mensal, que foi de

4,1378 kWh, sendo alguns meses mais proveitosos que outros. Os valores da potência calculados para todos os dias estão disponíveis no Apêndice C.

5.2.2 Regressão não linear - RAZEC 266

Seguindo o mesmo procedimento do micro aerogerador apresentado anteriormente, para o modelo RAZEC 266 também foi criado um gráfico de dispersão, ajustado para uma função polinomial de sexto grau. A curva e a equação obtidas são demonstradas no Gráfico 9 a seguir.

Gráfico 9: Curva e equação da potência em kWh/mês que o micro aerogerador RAZEC 266 fornece a 12 m de altura em função da velocidade dos ventos em m/s



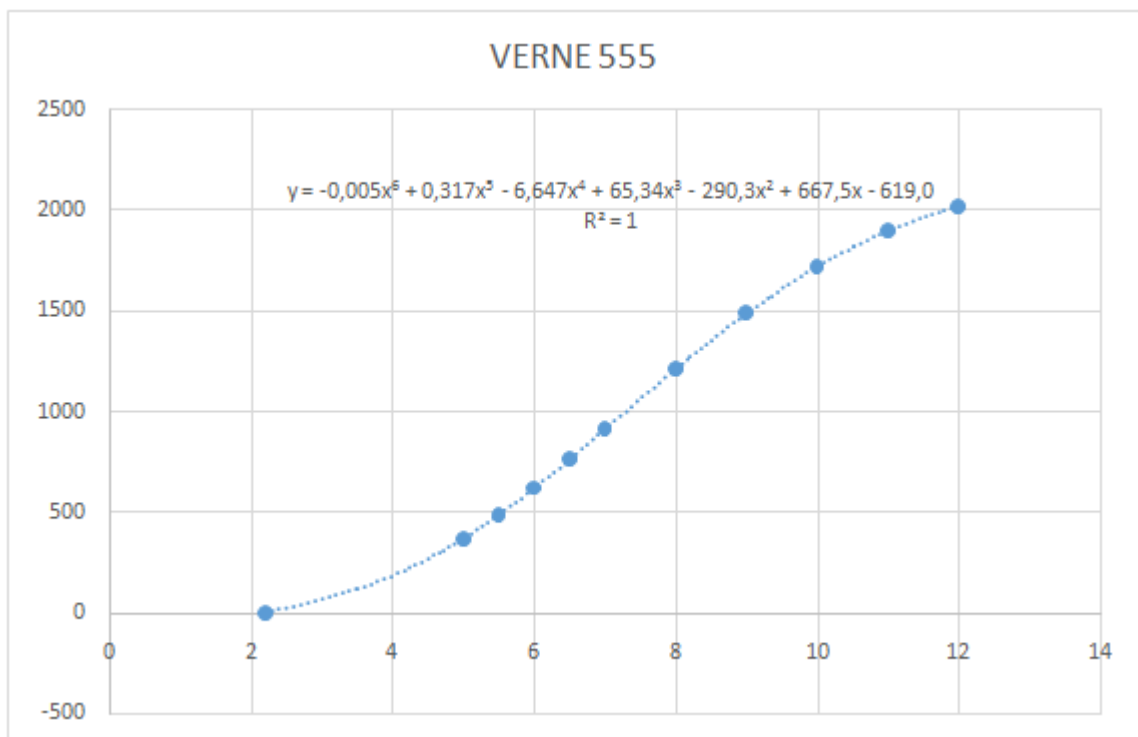
Fonte: Os autores

A partir da equação obtida por regressão não linear, foram calculados os valores diários de potência fornecida pelo RAZEC 266 durante o mesmo período, desde 01 de abril de 2017 a 31 de março de 2018, totalizando um valor de 22,985 kWh. Foi calculada, então, a média mensal que foi de 1,915 kWh/mês, sendo alguns meses mais proveitosos que outros. Os valores da potência calculados para todos os dias estão disponíveis no Apêndice C.

5.2.3 Regressão não linear - VERNE 555

Por fim, foi criado um gráfico de dispersão de acordo com os dados do modelo VERNE 555 e adicionada uma linha de tendência também expressa por uma função polinomial de sexto grau. A curva e equação obtidas estão demonstradas no Gráfico 10 a seguir.

Gráfico 10: Curva e equação da potência em kWh/mês que o micro aerogerador VERNE 555 fornece a 12 m de altura em função da velocidade dos ventos em m/s



Fonte: Os autores

A partir da equação obtida por regressão não linear, foram calculados os valores de potência diária fornecida pelo VERNE 555 durante o mesmo período, desde 01 de abril de 2017 a 31 de março de 2018, totalizando um valor de 201,690 kWh no ano todo. A partir deste valor, calculou-se a média mensal, que foi de 16,808 kWh/mês, sendo também alguns meses mais proveitosos que outros. Os valores da potência calculados para todos os dias estão disponíveis no Apêndice C.

5.3 ESCOLHA DO MICRO AEROGERADOR

Analisados todos os valores de potência dos três tipos de micro aerogeradores, um deles foi escolhido para este estudo. O terceiro modelo, VERNE 555, apesar de não ser o que possui menor velocidade de partida, parâmetro importante em um local em que as velocidades dificilmente ultrapassam 3 m/s, possui um índice de aproveitamento melhor, visto que para os mesmos valores de velocidade, fornece valores muito maiores de potência.

É importante salientar que os valores diários fornecidos pelo SIMEPAR indicam a média diária, ou seja, não necessariamente a velocidade durante o dia permaneceu sempre no valor conhecido. Portanto, é possível que o micro aerogerador entre em operação, mesmo nos dias em que as médias de velocidade forem inferiores ao valor da velocidade de partida. Sendo assim, até mesmo nesses dias, existe um índice de geração que não foi contabilizado no estudo, pois não é possível de ser mensurado.

Deste modo, o micro aerogerador Verne 555 foi o modelo selecionado para o estudo de viabilidade, apresentado no Capítulo 6.

6. ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO MICRO AEROGERADOR

Para a realização do estudo de viabilidade de um empreendimento, existem cinco variáveis relevantes a serem analisadas: técnica, comercial, ambiental, social e econômica (FARIA, 2014). No presente trabalho são discutidas todas essas dimensões, de forma a concluir sobre a viabilidade da implantação do micro aerogerador no *campus* Ecoville, da UTFPR em Curitiba.

6.1 VIABILIDADE TÉCNICA

A viabilidade técnica de um projeto ou tecnologia é determinada por alguns fatores, como as dificuldades técnicas, incertezas tecnológicas, a dificuldade de obtenção de matéria-prima, qual o nível da mão de obra necessária, entre muitas outras variáveis (FARIA, 2014).

No caso dos micro aerogeradores considerados, apesar de se tratar de uma tecnologia que ainda não foi largamente disseminada no país, se mostrou de fácil aquisição. Já existem no Brasil alguns fabricantes dos equipamentos, que fornecem todo o conjunto necessário para o perfeito funcionamento do sistema eólico aplicado a geração distribuída.

Além disso, há empresas de engenharia especializadas que fazem a instalação dos equipamentos de microgeração eólica e realizam os testes necessários para a correta operação do sistema, as quais foram contatadas, de forma a verificar a viabilidade da instalação. Inclusive, a empresa que forneceu os dados dos micro aerogeradores analisados neste trabalho inclui o serviço para instalação destes.

Esse tipo de geração se mostrou viável tecnicamente, visto que as variáveis impostas como dificultosas, como obtenção da tecnologia, mão de obra para instalação e entre outras, foram encontradas com facilidade.

6.2 VIABILIDADE COMERCIAL

A análise da viabilidade comercial consiste, principalmente, em avaliar a dimensão do mercado em que a tecnologia se aplica, diferenciando-se da viabilidade econômica, que busca avaliar a aplicabilidade do empreendimento e será apresentada

na sub secção 6.5. O estudo comercial contribui para a ampliação do conhecimento sobre o público-alvo que utiliza a tecnologia para definição das prioridades nos projetos. Os principais aspectos que ditam o estudo da viabilidade comercial são demanda existente, expectativa de crescimento, benefícios da tecnologia, importância da tecnologia para o cliente, dentre outros (FARIA, 2014).

Como já citado no trabalho, a demanda por energia elétrica vem se demonstrando crescente desde o início do século e as projeções estimam que esses valores continuem aumentando para os próximos anos (EPE, 2017). Para contribuir com o suprimento dessa necessidade, a geração distribuída de energia eólica, objeto deste estudo, se mostra um aliado de grande representatividade, juntamente com outras fontes renováveis de energia. Portanto, a demanda existente para este tipo de geração é muito expressiva.

Além disso, existem algumas políticas de divulgação desse tipo de geração, promovidas pelo governo e também pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), que buscam elucidar informações sobre a geração eólica descentralizada e levantar potenciais consumidores, por meio de questionários e a disseminação do conhecimento na área (PEREIRA, 2016). Sendo assim, esse mercado mostra uma expectativa de crescimento positiva para o futuro, visto que possui várias ferramentas de transmissão do conhecimento na área.

É importante também salientar os benefícios dessa tecnologia que já foram mencionados no trabalho, que são inúmeros: diversificação da matriz elétrica de forma sustentável e limpa, torna menor a dependência das concessionárias e dos grandes complexos de transmissão e, no caso do estudo, pode atender parte de determinada demanda do local, tornando assim, a aquisição de energia elétrica mais barata, análise que foi feita para a viabilidade econômica.

Tendo em vista todos os pontos relevantes para essa análise aplicados à tecnologia de geração eólica descentralizada, a implantação de um micro aerogerador na sede do *campus* Ecoville se mostra viável comercialmente, visto que ajuda a fornecer energia para uma parcela da demanda crescente, sendo então de suma importância para o cliente, possui uma expectativa de crescimento no mercado a longo prazo e sua tecnologia possui muitos benefícios.

6.3 VIABILIDADE AMBIENTAL

Para determinação do impacto ambiental, leva-se em conta alguns fatores, como: consumo de energia, água e emissão de gases poluentes e do efeito estufa (FARIA, 2014). Por se tratar de uma fonte energética, o micro aerogerador não consome energia ou água em sua operação, somente no seu processo de fabricação, o que não é possível de ser mensurado. Portanto, trata-se de uma tecnologia sem consumo de água ou energia e que além de não consumir, fornece potência. Trata-se ainda de uma fonte de geração limpa e renovável, ou seja, não emite gases poluentes ou causadores do efeito estufa.

Além disso, possivelmente será instalado em uma área urbana que já havia sido explorada anteriormente, então não haverá nenhum impacto ambiental no momento da sua instalação e em toda a sua operação.

Portanto, por se tratar de uma aplicação que não consome energia elétrica ou água em sua operação, ser uma fonte de energia limpa e não causar um impacto em uma área que ainda não tenha sido explorada, a implantação do micro aerogerador é viável ambientalmente.

6.4 VIABILIDADE SOCIAL

A viabilidade social está atrelada às consequências sociais resultantes do investimento realizado, sua relevância e possíveis impactos na qualidade de vida dos beneficiários (FARIA, 2014).

Um impacto social que afeta diretamente no ambiente estudantil é a quantidade de ruído externo que chega até às salas de aula. O micro aerogerador Verne 555 selecionado para o estudo não é o modelo que possui o menor nível de ruídos, portanto foi necessário contatar o fabricante para informações relacionadas a esse impacto. Segundo ele, para ventos em que as médias de velocidade não ultrapassam 4 m/s, como é o caso do local escolhido, os valores ficam em torno de 42 dB a uma distância de 12 m do equipamento. Tendo em vista que, na NBR 10152:2017 - Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, a ABNT estipula valores máximos entre 40 e 50 dB para ambiente de estudos e que a distância entre o micro aerogerador e as salas de aula ultrapassa os 12 m, a operação do micro aerogerador no estacionamento não seria um problema.

Além disso, a instalação do micro aerogerador no *campus* Ecoville proporcionaria a convivência dos alunos com uma classe de geração sustentável, e essa convivência pode servir de incentivo para mais aplicações desse tipo de implantação de grande relevância ambiental. Ademais, a área de instalação da turbina eólica pode se tornar ponto de encontro e lazer para os alunos.

Para mensurar o grau de conhecimento a respeito dessa tecnologia e a aceitação da instalação de um micro aerogerador no estacionamento do *campus* Ecoville, foi realizada uma pesquisa, a partir do recurso *online* “Formulários Google”, com os alunos e ex-alunos na UTFPR. Totalizaram 80 alunos e ex-alunos entrevistados, de cursos diversos: Engenharias (Elétrica, Controle e Automação, Mecânica, Mecatrônica, Civil, Eletrônica, Ambiental e Computação), Arquitetura e Urbanismo, Design, Licenciatura em Física, Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Mestrado em Engenharia Mecânica e Doutorado em Engenharia de Automação e Sistemas.

Dentre os entrevistados, cerca de 28% tem as aulas durante todo o curso no *campus* Ecoville, aproximadamente 67% também possui aulas nesse *campus*, mas em períodos esporádicos no decorrer do curso e o restante não têm aulas no local. Quando questionados a respeito do conhecimento do que é e para que serve um micro aerogerador, 77,5% disseram que têm conhecimento dessa tecnologia e 22,5% informaram que não sabiam o que era.

Então, para mensurar a viabilidade social da implantação do micro aerogerador, os entrevistados foram questionados se eram a favor desta implantação no *campus* da Universidade e do quanto achavam importante novos investimentos nas práticas de geração sustentável. Do total, 72,5% apoiam essa aplicação, 2,5% disseram não ser a favor e 25% não tinham uma opinião formada a respeito. A respeito da importância dos projetos de geração sustentável, 90% dos entrevistados responderam que acham importante ou muito importante e os demais se dividiram entre indiferente, pouco relevante e irrelevante.

Diante dos resultados da pesquisa e por estar de acordo com os valores de ruídos estipulados pela ABNT, pode-se considerar que a aplicação é viável socialmente, visto que não só é grande o nível de aceitação e consentimento, bem como é muito pequeno o nível de rejeição da implantação de um micro aerogerador no *campus* Ecoville por parte da comunidade envolvida na universidade.

6.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

É de fundamental importância o estudo da viabilidade econômica para a implantação de um micro aerogerador, este estudo pode ser dividido entre os custos iniciais e os custos de operação e manutenção. Neste caso, como trata-se de apenas uma única turbina de pequena escala, os gastos iniciais podem ser resumidos a despesas com avaliação do potencial eólico do local, instalação do microgerador e custos de equipamentos e componentes. A operação e manutenção são representados pela manutenção preventiva e possíveis reposição de componentes, como baterias (REIS, 2006).

A avaliação do potencial eólico, apresentada no capítulo 5, foi realizada de maneira gratuita pelas autoras deste estudo, portanto não gerou gastos para serem contabilizados na viabilidade econômica. Os custos do equipamento, dos componentes necessários e da instalação, que foram estimados pelo fabricante e fornecedor das turbinas, são apresentados na Tabela 7. Tais valores são tidos apenas como referência, pois os custos correspondentes à instalação dos aerogeradores selecionados na Seção 5.1, só podem ser disponibilizados após visita do fabricante na área da instalação.

Tabela 7: Valor de referência dos conjuntos de geração eólica *off grid* cotados

| Descrição da composição do conjunto de geração eólica <i>off grid</i> | Valor de referência |
|---|---------------------|
| <u>Aerogerador de eixo horizontal GERAR 246 1000w 48vdc</u> + Quadro Comando + Torre tubular galvanizada 12000mm com gabarito de fixação em solo + Banco de Baterias 48vdc 240 aH + Inversor senóide pura 1kV 127vac 48vdc 60hZ + Cabeamento + Montagem + Instalação + Frete CIF Curitiba PR. | R\$ 53.700,00 |
| <u>Aerogerador de eixo vertical RAZEC 266 1500w 48vdc</u> + Quadro Comando + Torre tubular galvanizada 12000mm com gabarito de fixação em solo + Banco de Baterias 48vdc 240 aH + Inversor senóide pura 2kV 127vac 48vdc 60hZ + Cabeamento + Montagem + Instalação + Frete CIF Curitiba PR. | R\$ 65.380,00 |
| <u>Aerogerador de eixo horizontal VERNE 555 6000w 96vdc</u> + Quadro Comando + Torre tubular galvanizada 12000mm com gabarito de fixação em solo + Banco de Baterias 96vdc 240 aH + Inversor senóide pura 6kV 127vac 48vdc 60hZ + Cabeamento + Montagem + Instalação + Frete CIF Curitiba PR. | R\$ 97.870,00 |

Fonte: Adaptado de Enersud, 2018

Mesmo o aerogerador Verne 555 apresentando o maior custo dentre os três conjuntos de geração eólica apresentados, ele foi escolhido para este estudo, como já explicado na Seção 5.3 do Capítulo 5.

Para realizar o cálculo da viabilidade econômica foi utilizado o cálculo da produção de eletricidade do microgerador eólico selecionado, demonstrado no Capítulo 5, e a comparação com os custos do consumo de energia da UTFPR *campus* Ecoville, fornecidos pela concessionária de energia. Na Tabela 8 a seguir, são demonstrados os valores de consumo nos horários de ponta e fora ponta para o período de abril de 2017 a março de 2018.

Tabela 8: Dados do consumo de energia da UTFPR *campus* Ecoville

| Data | Consumo ponta (kWh) | Custo kWh ponta | Consumo fora de ponta (kWh) | Custo kWh F ponta | Consumo total (kWh) | Valor da conta |
|--------|---------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| abr/17 | 10203 | R\$ 1,53 | 65996 | R\$ 0,38 | 76199 | R\$ 46.640,71 |
| mai/17 | 4045 | R\$ 1,55 | 27668 | R\$ 0,38 | 31713 | R\$ 19.889,01 |
| jun/17 | 4823 | R\$ 1,59 | 32337 | R\$ 0,42 | 37160 | R\$ 23.507,17 |
| jul/17 | 3892 | R\$ 1,78 | 27869 | R\$ 0,43 | 31761 | R\$ 22.891,72 |
| ago/17 | 3531 | R\$ 1,85 | 26277 | R\$ 0,44 | 29808 | R\$ 22.647,01 |
| set/17 | 4664 | R\$ 1,87 | 30550 | R\$ 0,44 | 35214 | R\$ 26.319,15 |
| out/17 | 3998 | R\$ 1,89 | 28949 | R\$ 0,45 | 32947 | R\$ 24.074,75 |
| nov/17 | 4172 | R\$ 1,90 | 33569 | R\$ 0,45 | 37741 | R\$ 28.783,52 |
| dez/17 | 3806 | R\$ 1,90 | 32272 | R\$ 0,45 | 36078 | R\$ 26.063,61 |
| jan/18 | 1711 | R\$ 1,89 | 20720 | R\$ 0,45 | 22431 | R\$ 17.279,14 |
| fev/18 | 2482 | R\$ 1,84 | 29942 | R\$ 0,44 | 32424 | R\$ 20.201,11 |
| mar/18 | 3988 | R\$ 1,80 | 34857 | R\$ 0,43 | 38845 | R\$ 24.959,28 |

Fonte: Os autores

O estudo da viabilidade econômica foi para o horário de ponta, no qual o preço do kWh é cerca de 70% maior que no horário fora ponta, como pode ser observado nos dados fornecidos pela concessionária de energia. Foi possível considerar a contribuição do micro aerogerador somente no horário de ponta, pois no orçamento fornecido pelo fabricante da turbina está contabilizado um banco de baterias, que pode armazenar a geração do restante do dia, para ser utilizado neste horário determinado. Os dados do consumo energético da universidade e o cálculo da economia proposta pelo micro aerogerador encontram-se resumidos na Tabela 9.

Tabela 9: Cálculo da viabilidade econômica da implantação da micro turbina no *campus* Ecoville

| Data | Consumo ponta (kWh) | Consumo ponta com aerogerador (kWh) | kWh ponta | Custo energia ponta | Custo energia ponta com aerogerador | Economia mensal |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------------------|----------------------|
| abr/17 | 10203 | 10190 | R\$ 1,53 | R\$ 15.640,03 | R\$ 15.620,62 | R\$ 19,40 |
| mai/17 | 4045 | 4032 | R\$ 1,55 | R\$ 6.250,73 | R\$ 6.230,51 | R\$ 20,23 |
| jun/17 | 4823 | 4797 | R\$ 1,59 | R\$ 7.692,46 | R\$ 7.651,61 | R\$ 40,85 |
| jul/17 | 3892 | 3882 | R\$ 1,78 | R\$ 6.929,84 | R\$ 6.911,15 | R\$ 18,68 |
| ago/17 | 3531 | 3507 | R\$ 1,85 | R\$ 6.538,72 | R\$ 6.494,78 | R\$ 43,94 |
| set/17 | 4664 | 4652 | R\$ 1,87 | R\$ 8.721,70 | R\$ 8.699,20 | R\$ 22,50 |
| out/17 | 3998 | 3959 | R\$ 1,89 | R\$ 7.554,73 | R\$ 7.481,61 | R\$ 73,12 |
| nov/17 | 4172 | 4146 | R\$ 1,90 | R\$ 7.928,21 | R\$ 7.878,62 | R\$ 49,59 |
| dez/17 | 3806 | 3793 | R\$ 1,90 | R\$ 7.232,68 | R\$ 7.207,27 | R\$ 25,41 |
| jan/18 | 1711 | 1697 | R\$ 1,89 | R\$ 3.226,66 | R\$ 3.200,21 | R\$ 26,45 |
| fev/18 | 2482 | 2474 | R\$ 1,84 | R\$ 4.578,38 | R\$ 4.562,89 | R\$ 15,49 |
| mar/18 | 3988 | 3985 | R\$ 1,80 | R\$ 7.160,27 | R\$ 7.153,99 | R\$ 6,28 |
| Economia anual | | | | | | R\$ 361,93 |
| Investimento | | | | | | R\$ 97.870,00 |
| Tempo de retorno (anos) | | | | | | 270 |

Fonte: Os autores

A partir da Tabela 9 apresentada, pode-se concluir que o consumo no horário de ponta do *campus* Ecoville, no período de 01 abril de 2017 a 31 março de 2018, foi de 51.315 kWh, enquanto que a potência fornecida anualmente pelo micro aerogerador é de 201,69 kWh, ou seja, apenas 0,39% da demanda na ponta do *campus* Ecoville da Universidade nesse período.

Para realizar a análise financeira, existem métodos consolidados na literatura, como por exemplo, o valor presente líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento (*payback*) (FARIA 2014). Para este trabalho, o único método que se aplica é o de *payback*, visto que os outros dois buscam comparar o investimento em questão com uma possível aplicação financeira.

Como o melhor cenário a ser considerado no estudo da viabilidade econômica da instalação do microgerador eólico Verne 555 é nos horários de ponta, foram subtraídas as gerações mensais, calculadas anteriormente, dos valores de consumo mensais da universidade nesse horário. Deste modo, a turbina forneceria uma economia de R\$ 361,93 ao ano e o tempo de retorno do investimento, sem considerar os custos com a manutenção preventiva e corretiva do aerogerador e as oscilações

no custo do fornecimento de energia, seria de aproximadamente 270 anos, mostrando-se inviável economicamente.

Um motivo para a inviabilidade econômica é a falta de incentivos fiscais do governo brasileiro para investimentos nesse tipo de microgeração. Ao contrário do estado de Minas Gerais, que possui isenção de impostos para adquirir equipamentos de microgeração eólica, os demais estados brasileiros não possuem estímulos financeiros significativos, apenas incentivos de disseminação do conhecimento nesse modelo de tecnologia, que contribuem comercial e socialmente, mas não economicamente.

Além disso, existem as limitações geográficas do local escolhido, em que os valores de velocidade dos ventos não atingem valores proveitosos, e atrelado com as especificações do micro aerogerador para o arranque, os resultados não atingem valores suficientes para geração de energia rentável. As alternativas para a melhora desse parâmetro seriam a instalação do micro aerogerador a uma altura mais elevada e a utilização de um equipamento (*starter*) que diminua os parâmetros de velocidade de partida das micro turbinas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram realizadas pesquisas em relação a implantação de geradores eólicos, focando principalmente na aplicação da geração descentralizada. De uma maneira geral, devido a busca pela diversificação da matriz energética, pela necessidade de produção renovável e por alguns outros motivos já comentados neste trabalho, a implantação das turbinas eólicas está apresentando grande crescimento em todo mundo, motivando a realização deste estudo de caso.

Para a execução desta pesquisa viabilística, foi necessário calcular o potencial eólico do local escolhido. Frente a indisponibilidade da utilização de um *software*, devido a abordagem genérica, a estimativa do potencial eólico foi realizada a partir do método de regressões não lineares das curvas de potência dos três aerogeradores escolhidos para a realização do estudo. Esse método demonstrou-se mais assertivo por levar em consideração as particularidades de cada turbina e eficiente por proporcionar a escolha do micro aerogerador a partir do cálculo da potência de fornecimento.

Além da relevância das características dos equipamentos considerados no estudo, visto que cada um deles possui especificações diferentes de aproveitamento dos ventos, foi constatada a importância da particularidade da região selecionada e a posição escolhida para a instalação do microgerador, pois esses fatores influenciaram grandemente no resultado do potencial eólico.

Com a realização dos estudos teóricos, com a seleção do micro aerogerador, a partir do método da regressão não linear, e com a escolha da posição do equipamento, por meio de uma visita técnica realizada no *campus* Ecoville da UTFPR, foi possível determinar a praticabilidade da aplicação.

Com isso, o projeto demonstrou-se viável tecnicamente, já que apresenta uma tecnologia conhecida, apesar de pouco disseminada, e diferentes empresas brasileiras para realizar cotações do fornecimento da aplicação. Também demonstrou ser viável comercialmente, pois existe a demanda energética, possui uma expectativa de crescimento no mercado e sua tecnologia possui muitos benefícios ambientais e sociais.

Para efetivar a viabilidade social foi verificado o impacto sonoro da implantação do equipamento e realizada uma pesquisa com alunos e ex-alunos da universidade, por meio do recurso *online* "Formulários Google", onde 72,5% dos entrevistados

demonstram-se a favor da instalação do micro aerogerador.

Além disso, por se tratar de uma aplicação que não consome energia elétrica ou água em sua operação, ser uma fonte de energia limpa e não causar impacto em uma área que ainda não tenha sido explorada, a implantação da microturbina eólica também é viável ambientalmente.

No entanto, devido ao ainda prematuro desenvolvimento da tecnologia e o baixo incentivo fiscal do governo brasileiro, a aplicação desse tipo de geração em pequena escala ainda não é rentável, mostrando-se inviável financeiramente para a aquisição da universidade, que necessitaria de mais de dois séculos para obter o retorno do investimento.

Portanto, as sugestões para os próximos trabalhos são:

- Selecionar uma região com maiores incidências de ventos, fator determinante para a potência gerada pelo micro aerogerador;
- Escolher um consumidor com uma demanda energética mais baixa, para que a proporção de potência fornecida e consumida seja maior;
- Instalar um dispositivo (*starter*) que diminua os parâmetros de velocidade de partida das microturbinas;
- Instalar o micro aerogerador em uma posição mais alta em relação ao solo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (a). **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 17 de março de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (a). **Resolução Normativa nº 786**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em 28 de abril de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (b). **Geração distribuída**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp>. Acesso em 30 de outubro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (b). **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em 01 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (c). **Geração distribuída ultrapassa 20 mil conexões**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877>. Acesso em 07 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (d). **Geração distribuída**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 30 de outubro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em 19 de setembro de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Evolução da Energia Eólica no Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aneel-essencial/-/asset_publisher/c4M6OIoMkLad/content/evolucao-da-energia-eolica-no-brasil?inheritRedirect=false>. Acesso em 18 de março de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 21 de abril de 2018.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2012.

ALMEIDA, Ronaldo Pereira de. **Suprimento regional de energia através de geração distribuída com recursos renováveis**. Itajubá. Universidade Federal de Itajubá, 2010.

AMARAL, Bianca Mesquita. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. Rio de Janeiro. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

AMARANTE, Odilon A. Camargo; ZACK, Michael Brower e John; SÁ, Antonio Leite. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Cepel, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **A microgeração no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/noticias/a-microgeracao-no-brasil/>>. Acesso em 25 de março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (a). **Dez fatos sobre energia eólica brasileira que você talvez não saiba**. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/noticias/dez-fatos-sobre-energia-eolica-brasileira-que-voce-talvez-nao-saiba-2/>>. Acesso em 23 de setembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (b). **Potencial e importância da indústria eólica**. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>>. Acesso em 20 de setembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. **Mapa do mercado 2**. Disponível em <<https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado-2>>. Acesso em 10 de maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Comitê Brasileiro de Construção Civil, 2017.

BARBOSA, Wilson Pereira. **Geração distribuída: Vantagens e desvantagens**. II Simpósio de estudos e pesquisas em ciências ambientais na Amazônia. Belém, 2013.

BARROS, Maria Cecília B. L. de. **Geração distribuída de energia elétrica a partir da fonte eólica no Brasil**. São Paulo, 2011.

BICALHO, Fabiano Silveira. **Integração de Turbinas Eólicas às Redes Elétricas**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil**. São Paulo, 2006.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C. da; PECORA, Vanessa; ABREU, F. C. de. **Geração de energia elétrica a partir a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto**. Universidade de São Paulo; Instituto de

Eletrotécnica e Energia; Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2006.

CONCEIÇÃO, Luciana de Freitas. **Microgeração de energia elétrica através de sistema híbrido eólico/solar para uso residencial**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

COPEL EÓLICA. **Por que aproveitar o vento para gerar energia?** Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F301DC3A7702B129303257405005C2FDB>> Acesso em: 16 de março de 2018.

COSTA, Anderson; SERAINE, Wilson. **Eficiência na produção de energia eólica no litoral do Piauí**. 2010.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: Propostas para desenvolvimento no setor**. São Paulo, 2015.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 2ª ed.. 2013.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Legislação Informatizada - DECRETO Nº 5.163, DE 30 DE JULHO DE 2004 - Publicação Original**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5163-30-julho-2004-533148-publicacaooriginal-16354-pe.html>>. Acesso em 27 de maio de 2018.

DIAS, Marcos Vinícius Xavier. **Geração distribuída no Brasil: Oportunidades e barreiras**. Itajubá. Universidade Federal de Itajubá, 2005.

DUTRA, Ricardo. **Energia Eólica – Princípios e Tecnologias**. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Rio de Janeiro, 2008.

EL-KHATTAM, W.; SALAMA, M.M.A. **Distributed generation technologies, definitions and benefits**. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ont., Canada N2L 3G1, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro, 2017.

ENERSUD. **Orçamento turbina Verne 555**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <biancafonseca@alunos.utfpr.edu.br> e <hellenramalho@alunos.utfpr.edu.br> em 31 de agosto de 2018.

FANINI, Noemi Morceli. **Atlas geográfico do município de Curitiba**. Programa de Desenvolvimento Educacional - PDE. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1128-2.pdf>>. Acesso em 27 de agosto de 2018

FARIA, Adriana Ferreira de; SILVA, Tiago Pinheiro da; RODRIGUES, Marcos Fernandes de Castro. **Método para Análise e Avaliação de Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial e do Impacto Ambiental e Social (EVTECIAS)**. Belém, 2014.

FERREIRA, Abel António de Azevedo. **Sistema de produção de energia eólica**. Versão provisória. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

FLECK, Gustavo Dias. **Simulação de grandes escalas para análise numérica da esteira aerodinâmica da turbina eólica NREL UAE Phase VI**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Brasil assume o 9º lugar em ranking mundial de energia eólica**. Disponível em: <<http://gwec.net/brasil-assume-o-9o-lugar-em-ranking-mundial-de-energia-eolica/#>>. Acesso em 18 de setembro de 2017.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-25.4541302,-49.299509,40787a,35y,2.21h/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 30 de agosto de 2018

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Qualidade do fornecimento de energia elétrica: Confiabilidade, Conformidade e Presteza**. 14ª ed. São Paulo, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P13&uf=00>>. Acesso em 01 de maio de 2018.

INSTITUTO IDEAL. **Como faço para ter energia eólica em minha casa?**. Cartilha disponível em: <<http://institutoideal.org/guiaeeolica/>> Acesso em 12 de maio de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é geração distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em 31 de março de 2018.

KALOGIROU, Soteris A.. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas**. 2ª ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2016.

LYSEN, E. H.. **Introduction to Wind Energy**. 2nd Edition. Amersfoort, 1983.

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

MARTINS, Osvaldo Stella. **Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia Elétrica**. 1º Seminário sobre a Utilização de Energias Renováveis para Eletrificação Rural do Norte e Nordeste do Brasil, Brasília 2004.

MARTINS, Vanderlei Affonso. **Análise do potencial de políticas na viabilidade de geração distribuída no Brasil**. Rio de Janeiro, 2015.

MHR TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE. **Números da Energia Solar em 2017 - Micro / Mini Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www.mhrtecnologia.com.br/numeros-da-energia-solar-em-2017-micro-mini-geracao-distribuida>> Acesso em 19 de maio de 2018.

MIOTO, Regina C. T.; LIMA, Telma C. S. **Procedimentos metodológicos para construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica**. Vol. 10 Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2007.

MOREIRA, Fernando Delgado. **Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica, em grande escala, no nordeste brasileiro**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.

MOREIRA, Rita Isabel Pimentel. **Avaliação do potencial eólico em regime de microgeração**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

NEVES, Priscilla Souza. **Interligação da geração eolielétrica com o sistema elétrico de potência**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.

PEREIRA, Márcio Giannini; MONTEZANO, Bruno; DUTRA, Ricardo. **Mercado de energia eólica de pequeno porte no Brasil - Percepção do potencial consumidor**. Brazil Windpower. Rio de Janeiro, 2015.

PINTO, Milton de O. **Fundamentos da Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PIXABAY. **Rotor Savonius Vertical**. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/rotor-savonius-vertical-3084781/>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

PORTAL ENERGIA. **Como funciona um aerogerador**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador/>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

PROBIOGÁS. **Guia técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em estações de tratamento de esgoto**. 1ª ed. Brasília, 2017.

REIS, Monica M.; OLIVEIRA JR, Demercil S.; CARVALHO, Paulo C. M. **Estudo de viabilidade econômica de geradores eólicos de pequeno porte no modo autônomo**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Campina Grande, 2006.

RODRIGUES, Rafael Valotta. **Simulação do desempenho de aerogeradores de pequeno porte**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

SCHNEIDER, Craian R. S.. **Estudo de viabilidade de uma microcentral hidrelétrica como fonte alternativa de energia**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2013.

SILVA, Rui André de Jesus. **Microgeração na rede de BT - limites técnicos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Vol.27, São Paulo 2013.

SOUSA, Isaac Diego Pereira de. **Projeto e ensaios de pás para turbinas eólicas de pequeno porte com diferentes correções geométricas na ponta e na raiz da pá**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

SUEHARA, Bruno Batista. **Controle da velocidade angular de uma turbina eólica de eixo horizontal via planicidade diferencial**. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2016.

TEIXEIRA, Ana Raquel Paulino de Aragão. **Micro-turbinas instaladas em ambiente urbano, para aplicações de microgeração: desenvolvimento de uma metodologia para identificação e caracterização do potencial eólico**. Universidade de Lisboa, 2010.

TEKNIKICERIK. **Dikey Rüzgar Türbini Kanat Yapıları ve Analizi**. Disponível em: <<http://www.teknikicerik.com/dikey-ruzgar-turbini-kanat-yapilari.html>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

WIKIPEDIA. **Darrieus-Rotor**. Disponível em: <<https://de.wikipedia.org/wiki/Darrieus-Rotor>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

WIKIPEDIA. **Lista de bairros de Curitiba**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_bairros_de_Curitiba>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION. **Small Wind World Report 2017**. WWEA, Bonn, Germany, 2017.

**APÊNDICE A – Dados de velocidade média diária a 10 metros de altura
fornecidos pelo SIMEPAR e velocidade média diária calculada para a altura de
12 metros**

| Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) | Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) |
|------------|---|---|------------|---|---|
| 01/04/2017 | 2,219 | 2,287 | 01/06/2017 | 4,054 | 4,178 |
| 02/04/2017 | 1,968 | 2,028 | 02/06/2017 | 1,867 | 1,924 |
| 03/04/2017 | 1,668 | 1,719 | 03/06/2017 | 1,797 | 1,852 |
| 04/04/2017 | 1,624 | 1,674 | 04/06/2017 | 2,015 | 2,077 |
| 05/04/2017 | 2,597 | 2,677 | 05/06/2017 | 2,271 | 2,341 |
| 06/04/2017 | 1,831 | 1,887 | 06/06/2017 | 2,069 | 2,132 |
| 07/04/2017 | 1,699 | 1,751 | 07/06/2017 | 1,514 | 1,560 |
| 08/04/2017 | 1,951 | 2,011 | 08/06/2017 | 4,691 | 4,835 |
| 09/04/2017 | 2,077 | 2,141 | 09/06/2017 | 3,681 | 3,794 |
| 10/04/2017 | 1,761 | 1,815 | 10/06/2017 | 2,293 | 2,363 |
| 11/04/2017 | 1,515 | 1,561 | 11/06/2017 | 0,909 | 0,937 |
| 12/04/2017 | 2,051 | 2,114 | 12/06/2017 | 0,834 | 0,860 |
| 13/04/2017 | 2,113 | 2,178 | 13/06/2017 | 1,019 | 1,050 |
| 14/04/2017 | 1,534 | 1,581 | 14/06/2017 | 1,338 | 1,379 |
| 15/04/2017 | 1,413 | 1,456 | 15/06/2017 | 1,655 | 1,706 |
| 16/04/2017 | 2,253 | 2,322 | 16/06/2017 | 1,444 | 1,488 |
| 17/04/2017 | 2,153 | 2,219 | 17/06/2017 | 1,906 | 1,964 |
| 18/04/2017 | 2,778 | 2,863 | 18/06/2017 | 2,328 | 2,399 |
| 19/04/2017 | 2,590 | 2,669 | 19/06/2017 | 1,839 | 1,895 |
| 20/04/2017 | 2,192 | 2,259 | 20/06/2017 | 2,229 | 2,297 |
| 21/04/2017 | 2,483 | 2,559 | 21/06/2017 | 2,054 | 2,117 |
| 22/04/2017 | 1,901 | 1,959 | 22/06/2017 | 2,228 | 2,296 |
| 23/04/2017 | 1,547 | 1,594 | 23/06/2017 | 1,981 | 2,042 |
| 24/04/2017 | 1,996 | 2,057 | 24/06/2017 | 1,172 | 1,208 |
| 25/04/2017 | 2,255 | 2,324 | 25/06/2017 | 1,619 | 1,669 |
| 26/04/2017 | 3,411 | 3,515 | 26/06/2017 | 1,582 | 1,630 |
| 27/04/2017 | 2,689 | 2,771 | 27/06/2017 | 1,448 | 1,492 |
| 28/04/2017 | 1,409 | 1,452 | 28/06/2017 | 1,275 | 1,314 |
| 29/04/2017 | 1,638 | 1,688 | 29/06/2017 | 1,627 | 1,677 |
| 30/04/2017 | 2,172 | 2,239 | 30/06/2017 | 1,746 | 1,799 |
| 01/05/2017 | 1,626 | 1,676 | 01/07/2017 | 1,535 | 1,582 |
| 02/05/2017 | 1,978 | 2,039 | 02/07/2017 | 2,570 | 2,649 |
| 03/05/2017 | 1,438 | 1,482 | 03/07/2017 | 2,789 | 2,874 |
| 04/05/2017 | 1,893 | 1,951 | 04/07/2017 | 3,378 | 3,481 |
| 05/05/2017 | 1,345 | 1,386 | 05/07/2017 | 1,591 | 1,640 |
| 06/05/2017 | 1,274 | 1,313 | 06/07/2017 | 1,171 | 1,207 |
| 07/05/2017 | 1,379 | 1,421 | 07/07/2017 | 1,288 | 1,327 |
| 08/05/2017 | 1,269 | 1,308 | 08/07/2017 | 1,523 | 1,570 |
| 09/05/2017 | 1,752 | 1,806 | 09/07/2017 | 1,550 | 1,597 |
| 10/05/2017 | 1,911 | 1,970 | 10/07/2017 | 1,224 | 1,261 |
| 11/05/2017 | 2,234 | 2,302 | 11/07/2017 | 0,948 | 0,977 |
| 12/05/2017 | 1,656 | 1,707 | 12/07/2017 | 1,252 | 1,290 |
| 13/05/2017 | 2,358 | 2,430 | 13/07/2017 | 1,707 | 1,759 |
| 14/05/2017 | 4,135 | 4,262 | 14/07/2017 | 1,428 | 1,472 |
| 15/05/2017 | 1,484 | 1,529 | 15/07/2017 | 2,019 | 2,081 |
| 16/05/2017 | 2,192 | 2,259 | 16/07/2017 | 2,842 | 2,929 |
| 17/05/2017 | 1,885 | 1,943 | 17/07/2017 | 2,554 | 2,632 |
| 18/05/2017 | 2,373 | 2,446 | 18/07/2017 | 2,143 | 2,209 |
| 19/05/2017 | 2,572 | 2,651 | 19/07/2017 | 1,416 | 1,459 |
| 20/05/2017 | 2,926 | 3,016 | 20/07/2017 | 1,280 | 1,319 |
| 21/05/2017 | 1,397 | 1,440 | 21/07/2017 | 1,565 | 1,613 |
| 22/05/2017 | 1,400 | 1,443 | 22/07/2017 | 1,730 | 1,783 |
| 23/05/2017 | 1,443 | 1,487 | 23/07/2017 | 1,749 | 1,803 |
| 24/05/2017 | 1,220 | 1,257 | 24/07/2017 | 1,585 | 1,634 |
| 25/05/2017 | 1,358 | 1,400 | 25/07/2017 | 1,025 | 1,056 |
| 26/05/2017 | 1,415 | 1,458 | 26/07/2017 | 0,911 | 0,939 |
| 27/05/2017 | 1,759 | 1,813 | 27/07/2017 | 1,375 | 1,417 |
| 28/05/2017 | 1,420 | 1,463 | 28/07/2017 | 1,983 | 2,044 |
| 29/05/2017 | 1,376 | 1,418 | 29/07/2017 | 1,556 | 1,604 |
| 30/05/2017 | 1,963 | 2,023 | 30/07/2017 | 1,369 | 1,411 |
| 31/05/2017 | 1,981 | 2,042 | 31/07/2017 | 1,023 | 1,054 |

| Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) | Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) |
|------------|---|---|------------|---|---|
| 01/08/2017 | 1,684 | 1,736 | 01/10/2017 | 3,616 | 3,727 |
| 02/08/2017 | 2,044 | 2,107 | 02/10/2017 | 4,327 | 4,460 |
| 03/08/2017 | 3,767 | 3,882 | 03/10/2017 | 3,088 | 3,183 |
| 04/08/2017 | 1,936 | 1,995 | 04/10/2017 | 2,118 | 2,183 |
| 05/08/2017 | 2,120 | 2,185 | 05/10/2017 | 2,223 | 2,291 |
| 06/08/2017 | 2,603 | 2,683 | 06/10/2017 | 2,322 | 2,393 |
| 07/08/2017 | 1,623 | 1,673 | 07/10/2017 | 2,370 | 2,443 |
| 08/08/2017 | 2,366 | 2,438 | 08/10/2017 | 2,089 | 2,153 |
| 09/08/2017 | 2,557 | 2,635 | 09/10/2017 | 2,322 | 2,393 |
| 10/08/2017 | 2,002 | 2,063 | 10/10/2017 | 1,289 | 1,328 |
| 11/08/2017 | 2,442 | 2,517 | 11/10/2017 | 2,076 | 2,140 |
| 12/08/2017 | 3,115 | 3,210 | 12/10/2017 | 2,442 | 2,517 |
| 13/08/2017 | 3,007 | 3,099 | 13/10/2017 | 2,083 | 2,147 |
| 14/08/2017 | 2,907 | 2,996 | 14/10/2017 | 1,828 | 1,884 |
| 15/08/2017 | 1,722 | 1,775 | 15/10/2017 | 2,655 | 2,736 |
| 16/08/2017 | 1,278 | 1,317 | 16/10/2017 | 2,828 | 2,915 |
| 17/08/2017 | 1,545 | 1,592 | 17/10/2017 | 2,486 | 2,562 |
| 18/08/2017 | 1,591 | 1,640 | 18/10/2017 | 1,996 | 2,057 |
| 19/08/2017 | 1,552 | 1,600 | 19/10/2017 | 2,660 | 2,741 |
| 20/08/2017 | 1,844 | 1,900 | 20/10/2017 | 2,277 | 2,347 |
| 21/08/2017 | 2,572 | 2,651 | 21/10/2017 | 2,460 | 2,535 |
| 22/08/2017 | 2,876 | 2,964 | 22/10/2017 | 2,721 | 2,804 |
| 23/08/2017 | 2,128 | 2,193 | 23/10/2017 | 2,497 | 2,573 |
| 24/08/2017 | 1,920 | 1,979 | 24/10/2017 | 2,325 | 2,396 |
| 25/08/2017 | 2,344 | 2,416 | 25/10/2017 | 2,058 | 2,121 |
| 26/08/2017 | 1,717 | 1,770 | 26/10/2017 | 2,008 | 2,070 |
| 27/08/2017 | 1,275 | 1,314 | 27/10/2017 | 2,873 | 2,961 |
| 28/08/2017 | 1,576 | 1,624 | 28/10/2017 | 3,836 | 3,953 |
| 29/08/2017 | 1,184 | 1,220 | 29/10/2017 | 2,146 | 2,212 |
| 30/08/2017 | 1,620 | 1,670 | 30/10/2017 | 1,477 | 1,522 |
| 31/08/2017 | 2,776 | 2,861 | 31/10/2017 | 1,930 | 1,989 |
| 01/09/2017 | 2,877 | 2,965 | 01/11/2017 | 2,549 | 2,627 |
| 02/09/2017 | 2,202 | 2,269 | 02/11/2017 | 3,303 | 3,404 |
| 03/09/2017 | 1,409 | 1,452 | 03/11/2017 | 1,855 | 1,912 |
| 04/09/2017 | 1,705 | 1,757 | 04/11/2017 | 2,133 | 2,198 |
| 05/09/2017 | 1,977 | 2,038 | 05/11/2017 | 2,144 | 2,210 |
| 06/09/2017 | 2,182 | 2,249 | 06/11/2017 | 1,731 | 1,784 |
| 07/09/2017 | 1,733 | 1,786 | 07/11/2017 | 2,568 | 2,647 |
| 08/09/2017 | 1,592 | 1,641 | 08/11/2017 | 2,219 | 2,287 |
| 09/09/2017 | 1,753 | 1,807 | 09/11/2017 | 1,708 | 1,760 |
| 10/09/2017 | 2,193 | 2,260 | 10/11/2017 | 2,086 | 2,150 |
| 11/09/2017 | 1,765 | 1,819 | 11/11/2017 | 1,809 | 1,864 |
| 12/09/2017 | 2,065 | 2,128 | 12/11/2017 | 3,211 | 3,309 |
| 13/09/2017 | 2,181 | 2,248 | 13/11/2017 | 1,602 | 1,651 |
| 14/09/2017 | 2,680 | 2,762 | 14/11/2017 | 2,541 | 2,619 |
| 15/09/2017 | 2,361 | 2,433 | 15/11/2017 | 2,166 | 2,232 |
| 16/09/2017 | 2,283 | 2,353 | 16/11/2017 | 2,498 | 2,575 |
| 17/09/2017 | 2,277 | 2,347 | 17/11/2017 | 2,373 | 2,446 |
| 18/09/2017 | 2,135 | 2,200 | 18/11/2017 | 1,805 | 1,860 |
| 19/09/2017 | 1,627 | 1,677 | 19/11/2017 | 1,913 | 1,972 |
| 20/09/2017 | 1,958 | 2,018 | 20/11/2017 | 2,614 | 2,694 |
| 21/09/2017 | 1,517 | 1,563 | 21/11/2017 | 2,003 | 2,064 |
| 22/09/2017 | 1,604 | 1,653 | 22/11/2017 | 2,313 | 2,384 |
| 23/09/2017 | 1,946 | 2,006 | 23/11/2017 | 2,498 | 2,575 |
| 24/09/2017 | 2,703 | 2,786 | 24/11/2017 | 1,771 | 1,825 |
| 25/09/2017 | 2,806 | 2,892 | 25/11/2017 | 2,359 | 2,431 |
| 26/09/2017 | 2,045 | 2,108 | 26/11/2017 | 3,680 | 3,793 |
| 27/09/2017 | 1,811 | 1,866 | 27/11/2017 | 2,389 | 2,462 |
| 28/09/2017 | 2,799 | 2,885 | 28/11/2017 | 2,417 | 2,491 |
| 29/09/2017 | 2,264 | 2,333 | 29/11/2017 | 2,509 | 2,586 |
| 30/09/2017 | 2,076 | 2,140 | 30/11/2017 | 2,693 | 2,775 |

| Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) | Data | Velocidade a 10 m de altura (m/s) - SIMEPAR | Velocidade calculada a 12 m de altura (m/s) |
|------------|---|---|------------|---|---|
| 01/12/2017 | 2,715 | 2,798 | 01/02/2018 | 1,864 | 1,921 |
| 02/12/2017 | 2,807 | 2,893 | 02/02/2018 | 1,733 | 1,786 |
| 03/12/2017 | 1,724 | 1,777 | 03/02/2018 | 2,124 | 2,189 |
| 04/12/2017 | 1,800 | 1,855 | 04/02/2018 | 2,535 | 2,613 |
| 05/12/2017 | 2,111 | 2,176 | 05/02/2018 | 1,918 | 1,977 |
| 06/12/2017 | 2,339 | 2,411 | 06/02/2018 | 1,540 | 1,587 |
| 07/12/2017 | 1,541 | 1,588 | 07/02/2018 | 1,347 | 1,388 |
| 08/12/2017 | 2,114 | 2,179 | 08/02/2018 | 2,103 | 2,167 |
| 09/12/2017 | 1,709 | 1,761 | 09/02/2018 | 1,911 | 1,970 |
| 10/12/2017 | 1,759 | 1,813 | 10/02/2018 | 2,146 | 2,212 |
| 11/12/2017 | 3,033 | 3,126 | 11/02/2018 | 1,857 | 1,914 |
| 12/12/2017 | 2,840 | 2,927 | 12/02/2018 | 1,915 | 1,974 |
| 13/12/2017 | 2,386 | 2,459 | 13/02/2018 | 2,398 | 2,471 |
| 14/12/2017 | 1,578 | 1,626 | 14/02/2018 | 2,349 | 2,421 |
| 15/12/2017 | 1,705 | 1,757 | 15/02/2018 | 2,184 | 2,251 |
| 16/12/2017 | 1,945 | 2,005 | 16/02/2018 | 2,031 | 2,093 |
| 17/12/2017 | 2,523 | 2,600 | 17/02/2018 | 1,801 | 1,856 |
| 18/12/2017 | 2,214 | 2,282 | 18/02/2018 | 1,659 | 1,710 |
| 19/12/2017 | 2,370 | 2,443 | 19/02/2018 | 1,874 | 1,931 |
| 20/12/2017 | 1,747 | 1,801 | 20/02/2018 | 2,824 | 2,910 |
| 21/12/2017 | 1,463 | 1,508 | 21/02/2018 | 2,763 | 2,848 |
| 22/12/2017 | 2,025 | 2,087 | 22/02/2018 | 2,075 | 2,139 |
| 23/12/2017 | 2,110 | 2,175 | 23/02/2018 | 2,565 | 2,644 |
| 24/12/2017 | 2,617 | 2,697 | 24/02/2018 | 2,283 | 2,353 |
| 25/12/2017 | 1,845 | 1,902 | 25/02/2018 | 2,045 | 2,108 |
| 26/12/2017 | 0,596 | 0,614 | 26/02/2018 | 1,460 | 1,505 |
| 27/12/2017 | 0,475 | 0,490 | 27/02/2018 | 1,592 | 1,641 |
| 28/12/2017 | 1,761 | 1,815 | 28/02/2018 | 1,848 | 1,905 |
| 29/12/2017 | 0,403 | 0,415 | 01/03/2018 | 1,825 | 1,881 |
| 30/12/2017 | 0,431 | 0,444 | 02/03/2018 | 1,613 | 1,662 |
| 31/12/2017 | 2,145 | 2,211 | 03/03/2018 | 1,505 | 1,551 |
| 01/01/2018 | 1,369 | 1,411 | 04/03/2018 | 1,390 | 1,433 |
| 02/01/2018 | 3,418 | 3,523 | 05/03/2018 | 1,900 | 1,958 |
| 03/01/2018 | 2,735 | 2,819 | 06/03/2018 | 1,515 | 1,561 |
| 04/01/2018 | 1,738 | 1,791 | 07/03/2018 | 1,888 | 1,946 |
| 05/01/2018 | 0,602 | 0,620 | 08/03/2018 | 2,010 | 2,072 |
| 06/01/2018 | 0,672 | 0,693 | 09/03/2018 | 1,871 | 1,928 |
| 07/01/2018 | 0,102 | 0,105 | 10/03/2018 | 1,423 | 1,467 |
| 08/01/2018 | 1,076 | 1,109 | 11/03/2018 | 1,897 | 1,955 |
| 09/01/2018 | 1,053 | 1,085 | 12/03/2018 | 2,219 | 2,287 |
| 10/01/2018 | 1,020 | 1,051 | 13/03/2018 | 2,009 | 2,071 |
| 11/01/2018 | 1,402 | 1,445 | 14/03/2018 | 1,892 | 1,950 |
| 12/01/2018 | 1,113 | 1,147 | 15/03/2018 | 2,963 | 3,054 |
| 13/01/2018 | 1,166 | 1,202 | 16/03/2018 | 1,736 | 1,789 |
| 14/01/2018 | 2,240 | 2,309 | 17/03/2018 | 1,711 | 1,763 |
| 15/01/2018 | 3,274 | 3,374 | 18/03/2018 | 1,667 | 1,718 |
| 16/01/2018 | 1,588 | 1,637 | 19/03/2018 | 1,847 | 1,904 |
| 17/01/2018 | 0,361 | 0,372 | 20/03/2018 | 1,908 | 1,966 |
| 18/01/2018 | 2,140 | 2,206 | 21/03/2018 | 1,728 | 1,781 |
| 19/01/2018 | 1,616 | 1,665 | 22/03/2018 | 1,975 | 2,035 |
| 20/01/2018 | 2,002 | 2,063 | 23/03/2018 | 1,920 | 1,979 |
| 21/01/2018 | 1,542 | 1,589 | 24/03/2018 | 2,394 | 2,467 |
| 22/01/2018 | 1,986 | 2,047 | 25/03/2018 | 1,877 | 1,934 |
| 23/01/2018 | 2,589 | 2,668 | 26/03/2018 | 1,955 | 2,015 |
| 24/01/2018 | 2,343 | 2,415 | 27/03/2018 | 1,124 | 1,158 |
| 25/01/2018 | 2,022 | 2,084 | 28/03/2018 | 1,289 | 1,328 |
| 26/01/2018 | 2,365 | 2,437 | 29/03/2018 | 1,245 | 1,283 |
| 27/01/2018 | 2,355 | 2,427 | 30/03/2018 | 1,331 | 1,372 |
| 28/01/2018 | 1,720 | 1,773 | 31/03/2018 | 1,333 | 1,374 |
| 29/01/2018 | 2,366 | 2,438 | | | |
| 30/01/2018 | 1,861 | 1,918 | | | |
| 31/01/2018 | 2,225 | 2,293 | | | |

**APÊNDICE B – Dados sobre a direção diária dos ventos, fornecidos pelo
SIMEPAR**

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/04/2017 | 90 |
| 02/04/2017 | 90 |
| 03/04/2017 | 90 |
| 04/04/2017 | 45 |
| 05/04/2017 | 315 |
| 06/04/2017 | 90 |
| 07/04/2017 | 90 |
| 08/04/2017 | 90 |
| 09/04/2017 | 90 |
| 10/04/2017 | 90 |
| 11/04/2017 | 270 |
| 12/04/2017 | 90 |
| 13/04/2017 | 90 |
| 14/04/2017 | 45 |
| 15/04/2017 | 45 |
| 16/04/2017 | 270 |
| 17/04/2017 | 90 |
| 18/04/2017 | 90 |
| 19/04/2017 | 90 |
| 20/04/2017 | 45 |
| 21/04/2017 | 270 |
| 22/04/2017 | 90 |
| 23/04/2017 | 90 |
| 24/04/2017 | 45 |
| 25/04/2017 | 45 |
| 26/04/2017 | 315 |
| 27/04/2017 | 225 |
| 28/04/2017 | 90 |
| 29/04/2017 | 90 |
| 30/04/2017 | 90 |
| 01/05/2017 | 45 |
| 02/05/2017 | 45 |
| 03/05/2017 | 90 |
| 04/05/2017 | 45 |
| 05/05/2017 | 225 |
| 06/05/2017 | 90 |
| 07/05/2017 | 90 |
| 08/05/2017 | 0 |
| 09/05/2017 | 225 |
| 10/05/2017 | 90 |
| 11/05/2017 | 90 |
| 12/05/2017 | 45 |
| 13/05/2017 | 0 |
| 14/05/2017 | 270 |
| 15/05/2017 | 90 |
| 16/05/2017 | 90 |
| 17/05/2017 | 90 |
| 18/05/2017 | 90 |
| 19/05/2017 | 90 |
| 20/05/2017 | 90 |
| 21/05/2017 | 45 |
| 22/05/2017 | 90 |
| 23/05/2017 | 90 |
| 24/05/2017 | 45 |
| 25/05/2017 | 0 |
| 26/05/2017 | 315 |
| 27/05/2017 | 90 |
| 28/05/2017 | 90 |
| 29/05/2017 | 270 |
| 30/05/2017 | 90 |
| 31/05/2017 | 45 |

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/06/2017 | 270 |
| 02/06/2017 | 225 |
| 03/06/2017 | 45 |
| 04/06/2017 | 315 |
| 05/06/2017 | 315 |
| 06/06/2017 | 315 |
| 07/06/2017 | 0 |
| 08/06/2017 | 315 |
| 09/06/2017 | 270 |
| 10/06/2017 | 225 |
| 11/06/2017 | 45 |
| 12/06/2017 | 90 |
| 13/06/2017 | 270 |
| 14/06/2017 | 90 |
| 15/06/2017 | 90 |
| 16/06/2017 | 45 |
| 17/06/2017 | 0 |
| 18/06/2017 | 315 |
| 19/06/2017 | 45 |
| 20/06/2017 | 90 |
| 21/06/2017 | 90 |
| 22/06/2017 | 45 |
| 23/06/2017 | 90 |
| 24/06/2017 | 90 |
| 25/06/2017 | 90 |
| 26/06/2017 | 45 |
| 27/06/2017 | 45 |
| 28/06/2017 | 270 |
| 29/06/2017 | 315 |
| 30/06/2017 | 270 |
| 01/07/2017 | 90 |
| 02/07/2017 | 90 |
| 03/07/2017 | 90 |
| 04/07/2017 | 90 |
| 05/07/2017 | 45 |
| 06/07/2017 | 45 |
| 07/07/2017 | 45 |
| 08/07/2017 | 90 |
| 09/07/2017 | 45 |
| 10/07/2017 | 45 |
| 11/07/2017 | 90 |
| 12/07/2017 | 90 |
| 13/07/2017 | 45 |
| 14/07/2017 | 0 |
| 15/07/2017 | 315 |
| 16/07/2017 | 315 |
| 17/07/2017 | 315 |
| 18/07/2017 | 225 |
| 19/07/2017 | 90 |
| 20/07/2017 | 45 |
| 21/07/2017 | 270 |
| 22/07/2017 | 45 |
| 23/07/2017 | 45 |
| 24/07/2017 | 45 |
| 25/07/2017 | 45 |
| 26/07/2017 | 90 |
| 27/07/2017 | 90 |
| 28/07/2017 | 45 |
| 29/07/2017 | 45 |
| 30/07/2017 | 45 |
| 31/07/2017 | 45 |

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/08/2017 | 315 |
| 02/08/2017 | 315 |
| 03/08/2017 | 225 |
| 04/08/2017 | 90 |
| 05/08/2017 | 90 |
| 06/08/2017 | 90 |
| 07/08/2017 | 45 |
| 08/08/2017 | 315 |
| 09/08/2017 | 225 |
| 10/08/2017 | 45 |
| 11/08/2017 | 90 |
| 12/08/2017 | 45 |
| 13/08/2017 | 45 |
| 14/08/2017 | 270 |
| 15/08/2017 | 45 |
| 16/08/2017 | 90 |
| 17/08/2017 | 90 |
| 18/08/2017 | 45 |
| 19/08/2017 | 45 |
| 20/08/2017 | 225 |
| 21/08/2017 | 90 |
| 22/08/2017 | 90 |
| 23/08/2017 | 45 |
| 24/08/2017 | 90 |
| 25/08/2017 | 90 |
| 26/08/2017 | 45 |
| 27/08/2017 | 90 |
| 28/08/2017 | 90 |
| 29/08/2017 | 45 |
| 30/08/2017 | 90 |
| 31/08/2017 | 90 |
| 01/09/2017 | 90 |
| 02/09/2017 | 90 |
| 03/09/2017 | 45 |
| 04/09/2017 | 315 |
| 05/09/2017 | 90 |
| 06/09/2017 | 90 |
| 07/09/2017 | 45 |
| 08/09/2017 | 45 |
| 09/09/2017 | 45 |
| 10/09/2017 | 45 |
| 11/09/2017 | 45 |
| 12/09/2017 | 90 |
| 13/09/2017 | 45 |
| 14/09/2017 | 315 |
| 15/09/2017 | 45 |
| 16/09/2017 | 90 |
| 17/09/2017 | 90 |
| 18/09/2017 | 90 |
| 19/09/2017 | 45 |
| 20/09/2017 | 90 |
| 21/09/2017 | 45 |
| 22/09/2017 | 45 |
| 23/09/2017 | 90 |
| 24/09/2017 | 90 |
| 25/09/2017 | 90 |
| 26/09/2017 | 90 |
| 27/09/2017 | 315 |
| 28/09/2017 | 90 |
| 29/09/2017 | 90 |
| 30/09/2017 | 270 |

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/10/2017 | 315 |
| 02/10/2017 | 315 |
| 03/10/2017 | 270 |
| 04/10/2017 | 90 |
| 05/10/2017 | 45 |
| 06/10/2017 | 45 |
| 07/10/2017 | 90 |
| 08/10/2017 | 90 |
| 09/10/2017 | 270 |
| 10/10/2017 | 45 |
| 11/10/2017 | 45 |
| 12/10/2017 | 90 |
| 13/10/2017 | 0 |
| 14/10/2017 | 90 |
| 15/10/2017 | 90 |
| 16/10/2017 | 90 |
| 17/10/2017 | 90 |
| 18/10/2017 | 0 |
| 19/10/2017 | 315 |
| 20/10/2017 | 90 |
| 21/10/2017 | 315 |
| 22/10/2017 | 270 |
| 23/10/2017 | 90 |
| 24/10/2017 | 90 |
| 25/10/2017 | 45 |
| 26/10/2017 | 270 |
| 27/10/2017 | 315 |
| 28/10/2017 | 270 |
| 29/10/2017 | 45 |
| 30/10/2017 | 45 |
| 31/10/2017 | 90 |
| 01/11/2017 | 90 |
| 02/11/2017 | 90 |
| 03/11/2017 | 45 |
| 04/11/2017 | 0 |
| 05/11/2017 | 90 |
| 06/11/2017 | 90 |
| 07/11/2017 | 90 |
| 08/11/2017 | 90 |
| 09/11/2017 | 45 |
| 10/11/2017 | 315 |
| 11/11/2017 | 225 |
| 12/11/2017 | 270 |
| 13/11/2017 | 90 |
| 14/11/2017 | 90 |
| 15/11/2017 | 0 |
| 16/11/2017 | 315 |
| 17/11/2017 | 315 |
| 18/11/2017 | 270 |
| 19/11/2017 | 90 |
| 20/11/2017 | 90 |
| 21/11/2017 | 45 |
| 22/11/2017 | 90 |
| 23/11/2017 | 90 |
| 24/11/2017 | 45 |
| 25/11/2017 | 45 |
| 26/11/2017 | 315 |
| 27/11/2017 | 90 |
| 28/11/2017 | 90 |
| 29/11/2017 | 90 |
| 30/11/2017 | 90 |

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/12/2017 | 90 |
| 02/12/2017 | 90 |
| 03/12/2017 | 90 |
| 04/12/2017 | 45 |
| 05/12/2017 | 90 |
| 06/12/2017 | 90 |
| 07/12/2017 | 0 |
| 08/12/2017 | 90 |
| 09/12/2017 | 90 |
| 10/12/2017 | 225 |
| 11/12/2017 | 90 |
| 12/12/2017 | 90 |
| 13/12/2017 | 45 |
| 14/12/2017 | 45 |
| 15/12/2017 | 45 |
| 16/12/2017 | 45 |
| 17/12/2017 | 45 |
| 18/12/2017 | 90 |
| 19/12/2017 | 90 |
| 20/12/2017 | 45 |
| 21/12/2017 | 315 |
| 22/12/2017 | 45 |
| 23/12/2017 | 315 |
| 24/12/2017 | 315 |
| 25/12/2017 | 90 |
| 26/12/2017 | 45 |
| 27/12/2017 | 45 |
| 28/12/2017 | 90 |
| 29/12/2017 | 0 |
| 30/12/2017 | 0 |
| 31/12/2017 | 270 |
| 01/01/2018 | 315 |
| 02/01/2018 | 270 |
| 03/01/2018 | 225 |
| 04/01/2018 | 90 |
| 05/01/2018 | 45 |
| 06/01/2018 | 0 |
| 07/01/2018 | 0 |
| 08/01/2018 | 135 |
| 09/01/2018 | 90 |
| 10/01/2018 | 90 |
| 11/01/2018 | 270 |
| 12/01/2018 | 270 |
| 13/01/2018 | 270 |
| 14/01/2018 | 315 |
| 15/01/2018 | 315 |
| 16/01/2018 | 270 |
| 17/01/2018 | 315 |
| 18/01/2018 | 270 |
| 19/01/2018 | 90 |
| 20/01/2018 | 90 |
| 21/01/2018 | 90 |
| 22/01/2018 | 315 |
| 23/01/2018 | 315 |
| 24/01/2018 | 315 |
| 25/01/2018 | 90 |
| 26/01/2018 | 90 |
| 27/01/2018 | 90 |
| 28/01/2018 | 45 |
| 29/01/2018 | 270 |
| 30/01/2018 | 90 |
| 31/01/2018 | 135 |

| Data | Direção (°) |
|------------|-------------|
| 01/02/2018 | 90 |
| 02/02/2018 | 90 |
| 03/02/2018 | 90 |
| 04/02/2018 | 90 |
| 05/02/2018 | 90 |
| 06/02/2018 | 90 |
| 07/02/2018 | 90 |
| 08/02/2018 | 45 |
| 09/02/2018 | 45 |
| 10/02/2018 | 0 |
| 11/02/2018 | 315 |
| 12/02/2018 | 90 |
| 13/02/2018 | 90 |
| 14/02/2018 | 90 |
| 15/02/2018 | 90 |
| 16/02/2018 | 90 |
| 17/02/2018 | 90 |
| 18/02/2018 | 45 |
| 19/02/2018 | 45 |
| 20/02/2018 | 315 |
| 21/02/2018 | 270 |
| 22/02/2018 | 270 |
| 23/02/2018 | 90 |
| 24/02/2018 | 90 |
| 25/02/2018 | 90 |
| 26/02/2018 | 90 |
| 27/02/2018 | 90 |
| 28/02/2018 | 315 |
| 01/03/2018 | 45 |
| 02/03/2018 | 90 |
| 03/03/2018 | 90 |
| 04/03/2018 | 90 |
| 05/03/2018 | 270 |
| 06/03/2018 | 90 |
| 07/03/2018 | 90 |
| 08/03/2018 | 90 |
| 09/03/2018 | 45 |
| 10/03/2018 | 45 |
| 11/03/2018 | 225 |
| 12/03/2018 | 90 |
| 13/03/2018 | 45 |
| 14/03/2018 | 315 |
| 15/03/2018 | 315 |
| 16/03/2018 | 90 |
| 17/03/2018 | 45 |
| 18/03/2018 | 45 |
| 19/03/2018 | 270 |
| 20/03/2018 | 45 |
| 21/03/2018 | 90 |
| 22/03/2018 | 45 |
| 23/03/2018 | 45 |
| 24/03/2018 | 45 |
| 25/03/2018 | 45 |
| 26/03/2018 | 90 |
| 27/03/2018 | 45 |
| 28/03/2018 | 90 |
| 29/03/2018 | 45 |
| 30/03/2018 | 90 |
| 31/03/2018 | 45 |

APÊNDICE C – Cálculo das potências geradas diariamente pelos micro aerogeradores GERAR 246, RAZEC 266 e VERNE 555, a 12 metros de altura

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/04/2017 | 0,177463167 | 0 | 0,259056651 |
| 02/04/2017 | 0,021041816 | 0 | 0 |
| 03/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 05/04/2017 | 0,338973236 | 0,105069585 | 1,359735784 |
| 06/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 07/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/04/2017 | 0,008268431 | 0 | 0 |
| 09/04/2017 | 0,095817886 | 0 | 0 |
| 10/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 11/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 12/04/2017 | 0,079037427 | 0 | 0 |
| 13/04/2017 | 0,118052296 | 0 | 0 |
| 14/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 15/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 16/04/2017 | 0,194822993 | 0 | 0,361105937 |
| 17/04/2017 | 0,141480399 | 0 | 0,05726478 |
| 18/04/2017 | 0,402717233 | 0,218436941 | 1,892183714 |
| 19/04/2017 | 0,336424207 | 0,100612503 | 1,339486445 |
| 20/04/2017 | 0,163123679 | 0 | 0,177141815 |
| 21/04/2017 | 0,296039496 | 0,031307339 | 1,031240468 |
| 22/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 23/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 24/04/2017 | 0,041396515 | 0 | 0 |
| 25/04/2017 | 0,19582108 | 0 | 0,36707379 |
| 26/04/2017 | 0,65331407 | 0,63560404 | 4,069273938 |
| 27/04/2017 | 0,371756627 | 0,163036544 | 1,627832716 |
| 28/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 29/04/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/04/2017 | 0,15216656 | 0 | 0,115909235 |
| 01/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 02/05/2017 | 0,028407573 | 0 | 0 |
| 03/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 05/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 06/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 07/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 09/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 10/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 11/05/2017 | 0,185214747 | 0 | 0,304221357 |
| 12/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 13/05/2017 | 0,244117187 | 0 | 0,670193784 |
| 14/05/2017 | 1,131301813 | 1,2757589 | 7,587336456 |
| 15/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 16/05/2017 | 0,163123679 | 0 | 0,177141815 |
| 17/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 18/05/2017 | 0,250691877 | 0 | 0,713788843 |
| 19/05/2017 | 0,329824657 | 0,089113871 | 1,287485961 |
| 20/05/2017 | 0,45437395 | 0,310538457 | 2,348044801 |
| 21/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 22/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 23/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 24/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 25/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 26/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 27/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 29/05/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/05/2017 | 0,0173181 | 0 | 0 |
| 31/05/2017 | 0,030596277 | 0 | 0 |

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/06/2017 | 1,064329047 | 1,192002092 | 7,128428336 |
| 02/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 03/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/06/2017 | 0,054741122 | 0 | 0 |
| 05/06/2017 | 0,203717114 | 0 | 0,414686951 |
| 06/06/2017 | 0,090720959 | 0 | 0 |
| 07/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/06/2017 | 1,686584366 | 1,942361908 | 11,19685171 |
| 09/06/2017 | 0,801081835 | 0,847415734 | 5,231912273 |
| 10/06/2017 | 0,214324875 | 0 | 0,479801862 |
| 11/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 12/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 13/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 14/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 15/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 16/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 17/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 18/06/2017 | 0,230640549 | 0 | 0,582650513 |
| 19/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 20/06/2017 | 0,182647471 | 0 | 0,289192389 |
| 21/06/2017 | 0,081005691 | 0 | 0 |
| 22/06/2017 | 0,182132039 | 0 | 0,286183522 |
| 23/06/2017 | 0,030596277 | 0 | 0 |
| 24/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 25/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 26/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 27/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 29/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/06/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 01/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 02/07/2017 | 0,329087184 | 0,087832752 | 1,281713701 |
| 03/07/2017 | 0,406526666 | 0,225265218 | 1,925299187 |
| 04/07/2017 | 0,637410961 | 0,611549868 | 3,938274146 |
| 05/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 06/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 07/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 09/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 10/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 11/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 12/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 13/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 14/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 15/07/2017 | 0,057503737 | 0 | 0 |
| 16/07/2017 | 0,424907597 | 0,258170306 | 2,086457382 |
| 17/07/2017 | 0,3231553 | 0,077557161 | 1,235570088 |
| 18/07/2017 | 0,13574402 | 0 | 0,026203344 |
| 19/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 20/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 21/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 22/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 23/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 24/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 25/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 26/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 27/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/07/2017 | 0,032050067 | 0 | 0 |
| 29/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/07/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 31/07/2017 | 0 | 0 | 0 |

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 02/08/2017 | 0,074411634 | 0 | 0 |
| 03/08/2017 | 0,855377667 | 0,921145048 | 5,638240722 |
| 04/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 05/08/2017 | 0,122246537 | 0 | 0 |
| 06/08/2017 | 0,341150776 | 0,108883772 | 1,377105661 |
| 07/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/08/2017 | 0,247636786 | 0 | 0,693457751 |
| 09/08/2017 | 0,324271984 | 0,079487527 | 1,24421767 |
| 10/08/2017 | 0,045650649 | 0 | 0 |
| 11/08/2017 | 0,279676267 | 0,004026902 | 0,913232234 |
| 12/08/2017 | 0,524381409 | 0,431168042 | 2,970921155 |
| 13/08/2017 | 0,483570174 | 0,361612329 | 2,608636061 |
| 14/08/2017 | 0,447652824 | 0,298653453 | 2,288153692 |
| 15/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 16/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 17/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 18/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 19/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 20/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 21/08/2017 | 0,329824657 | 0,089113871 | 1,287485961 |
| 22/08/2017 | 0,436764356 | 0,279317998 | 2,191364919 |
| 23/08/2017 | 0,126990149 | 0 | 0 |
| 24/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 25/08/2017 | 0,237883853 | 0 | 0,629403085 |
| 26/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 27/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 29/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/08/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 31/08/2017 | 0,402024554 | 0,217195269 | 1,886174232 |
| 01/09/2017 | 0,437114293 | 0,279940804 | 2,194469764 |
| 02/09/2017 | 0,168493934 | 0 | 0,207577274 |
| 03/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 05/09/2017 | 0,02767586 | 0 | 0 |
| 06/09/2017 | 0,157681735 | 0 | 0,146587273 |
| 07/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 09/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 10/09/2017 | 0,163663906 | 0 | 0,180190647 |
| 11/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 12/09/2017 | 0,088150588 | 0 | 0 |
| 13/09/2017 | 0,157133539 | 0 | 0,1435251 |
| 14/09/2017 | 0,368596723 | 0,157406865 | 1,601410281 |
| 15/09/2017 | 0,245440585 | 0 | 0,678921442 |
| 16/09/2017 | 0,209538143 | 0 | 0,450252555 |
| 17/09/2017 | 0,20663826 | 0 | 0,432484662 |
| 18/09/2017 | 0,131097853 | 0 | 0,001252881 |
| 19/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 20/09/2017 | 0,013566855 | 0 | 0 |
| 21/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 22/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 23/09/2017 | 0,004450185 | 0 | 0 |
| 24/09/2017 | 0,376657501 | 0,171780709 | 1,669035708 |
| 25/09/2017 | 0,412415135 | 0,235816688 | 1,976694847 |
| 26/09/2017 | 0,075075321 | 0 | 0 |
| 27/09/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/09/2017 | 0,40999008 | 0,231471982 | 1,95549933 |
| 29/09/2017 | 0,200281825 | 0 | 0,393884073 |
| 30/09/2017 | 0,095183943 | 0 | 0 |

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/10/2017 | 0,762454911 | 0,793798572 | 4,93665138 |
| 02/10/2017 | 1,304343946 | 1,487735277 | 8,743468304 |
| 03/10/2017 | 0,51393614 | 0,413588282 | 2,878637019 |
| 04/10/2017 | 0,12105236 | 0 | 0 |
| 05/10/2017 | 0,179544914 | 0 | 0,271123583 |
| 06/10/2017 | 0,227890367 | 0 | 0,565078149 |
| 07/10/2017 | 0,249385327 | 0 | 0,705078269 |
| 08/10/2017 | 0,10335535 | 0 | 0 |
| 09/10/2017 | 0,227890367 | 0 | 0,565078149 |
| 10/10/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 11/10/2017 | 0,095183943 | 0 | 0 |
| 12/10/2017 | 0,279676267 | 0,004026902 | 0,913232234 |
| 13/10/2017 | 0,099602666 | 0 | 0 |
| 14/10/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 15/10/2017 | 0,35977401 | 0,141728858 | 1,528262154 |
| 16/10/2017 | 0,420043984 | 0,249474302 | 2,043617434 |
| 17/10/2017 | 0,297214752 | 0,033285636 | 1,039869553 |
| 18/10/2017 | 0,041396515 | 0 | 0 |
| 19/10/2017 | 0,361544361 | 0,144869553 | 1,542864109 |
| 20/10/2017 | 0,20663826 | 0 | 0,432484662 |
| 21/10/2017 | 0,286931484 | 0,016061275 | 0,965064887 |
| 22/10/2017 | 0,382936519 | 0,183002826 | 1,72220394 |
| 23/10/2017 | 0,301500011 | 0,040519891 | 1,071507914 |
| 24/10/2017 | 0,229267811 | 0 | 0,573867182 |
| 25/10/2017 | 0,083616883 | 0 | 0 |
| 26/10/2017 | 0,049867667 | 0 | 0 |
| 27/10/2017 | 0,435715012 | 0,277449902 | 2,182057164 |
| 28/10/2017 | 0,901652132 | 0,98269707 | 5,977442347 |
| 29/10/2017 | 0,137473194 | 0 | 0,035536374 |
| 30/10/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 31/10/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 01/11/2017 | 0,321289431 | 0,074335978 | 1,221161447 |
| 02/11/2017 | 0,602817366 | 0,558173128 | 3,648909946 |
| 03/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/11/2017 | 0,12992828 | 0 | 0 |
| 05/11/2017 | 0,136321203 | 0 | 0,029315758 |
| 06/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 07/11/2017 | 0,32834884 | 0,086550909 | 1,27594246 |
| 08/11/2017 | 0,177463167 | 0 | 0,259056651 |
| 09/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 10/11/2017 | 0,101482997 | 0 | 0 |
| 11/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 12/11/2017 | 0,56308299 | 0,494924662 | 3,309068082 |
| 13/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 14/11/2017 | 0,318291433 | 0,069171679 | 1,198117081 |
| 15/11/2017 | 0,148821658 | 0 | 0,097441286 |
| 16/11/2017 | 0,301887744 | 0,041176059 | 1,074384108 |
| 17/11/2017 | 0,250691877 | 0 | 0,713788843 |
| 18/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 19/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 20/11/2017 | 0,345126141 | 0,115862289 | 1,408984706 |
| 21/11/2017 | 0,046356053 | 0 | 0 |
| 22/11/2017 | 0,223729418 | 0 | 0,538675765 |
| 23/11/2017 | 0,301887744 | 0,041176059 | 1,074384108 |
| 24/11/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 25/11/2017 | 0,244558796 | 0 | 0,673103501 |
| 26/11/2017 | 0,800472077 | 0,846577357 | 5,227293275 |
| 27/11/2017 | 0,257591395 | 0 | 0,760180026 |
| 28/11/2017 | 0,269399594 | 0 | 0,841136973 |
| 29/11/2017 | 0,306133227 | 0,048377947 | 1,106023769 |
| 30/11/2017 | 0,373158596 | 0,165536438 | 1,639592145 |

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/12/2017 | 0,38084597 | 0,179264426 | 1,70445617 |
| 02/12/2017 | 0,412761637 | 0,236437376 | 1,979726567 |
| 03/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 04/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 05/12/2017 | 0,116846388 | 0 | 0 |
| 06/12/2017 | 0,23563425 | 0 | 0,614809018 |
| 07/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 08/12/2017 | 0,118653986 | 0 | 0 |
| 09/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 10/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 11/12/2017 | 0,493171785 | 0,378182389 | 2,694222866 |
| 12/12/2017 | 0,424212254 | 0,256927696 | 2,080324997 |
| 13/12/2017 | 0,256306418 | 0 | 0,751489648 |
| 14/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 15/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 16/12/2017 | 0,003683146 | 0 | 0 |
| 17/12/2017 | 0,311486429 | 0,057503055 | 1,146301723 |
| 18/12/2017 | 0,174845765 | 0 | 0,243948805 |
| 19/12/2017 | 0,249385327 | 0 | 0,705078269 |
| 20/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 21/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 22/12/2017 | 0,061617664 | 0 | 0 |
| 23/12/2017 | 0,116242167 | 0 | 0 |
| 24/12/2017 | 0,346206712 | 0,117762458 | 1,417687132 |
| 25/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 26/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 27/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 28/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 29/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 30/12/2017 | 0 | 0 | 0 |
| 31/12/2017 | 0,136897593 | 0 | 0,032426767 |
| 01/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/2018 | 0,656743345 | 0,640753301 | 4,097358154 |
| 03/01/2018 | 0,387806357 | 0,191717948 | 1,763717019 |
| 04/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 05/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 06/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 07/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 08/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 09/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 10/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 11/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 12/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 13/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 14/01/2018 | 0,188273932 | 0 | 0,322222872 |
| 15/01/2018 | 0,589986843 | 0,537985635 | 3,540037527 |
| 16/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 17/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 18/01/2018 | 0,134007703 | 0 | 0,016857622 |
| 19/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 20/01/2018 | 0,045650649 | 0 | 0 |
| 21/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 22/01/2018 | 0,03422277 | 0 | 0 |
| 23/01/2018 | 0,336059287 | 0,099975129 | 1,336594986 |
| 24/01/2018 | 0,237434932 | 0 | 0,626485404 |
| 25/01/2018 | 0,059565182 | 0 | 0 |
| 26/01/2018 | 0,247198486 | 0 | 0,69055145 |
| 27/01/2018 | 0,242789486 | 0 | 0,661461593 |
| 28/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 29/01/2018 | 0,247636786 | 0 | 0,693457751 |
| 30/01/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 31/01/2018 | 0,180581763 | 0 | 0,277150697 |

| Data | Potência gerada pelo aerogerador GERAR 246 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador RAZEC 266 - 12 m altura (kWh) | Potência gerada pelo aerogerador VERNE 555 - 12 m altura (kWh) |
|------------|--|--|--|
| 01/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 02/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 03/02/2018 | 0,124624936 | 0 | 0 |
| 04/02/2018 | 0,316032447 | 0,065289817 | 1,180840558 |
| 05/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 06/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 07/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 08/02/2018 | 0,111988812 | 0 | 0 |
| 09/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 10/02/2018 | 0,137473194 | 0 | 0,035536374 |
| 11/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 12/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 13/02/2018 | 0,261422874 | 0 | 0,786230804 |
| 14/02/2018 | 0,240121032 | 0 | 0,643983195 |
| 15/02/2018 | 0,158775933 | 0 | 0,15270792 |
| 16/02/2018 | 0,065695932 | 0 | 0 |
| 17/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 18/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 19/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 20/02/2018 | 0,418655839 | 0,246990567 | 2,031414132 |
| 21/02/2018 | 0,397520965 | 0,209122529 | 1,847196646 |
| 22/02/2018 | 0,094549097 | 0 | 0 |
| 23/02/2018 | 0,327239671 | 0,084626773 | 1,267287451 |
| 24/02/2018 | 0,209538143 | 0 | 0,450252555 |
| 25/02/2018 | 0,075075321 | 0 | 0 |
| 26/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 27/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 28/02/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 01/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 02/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 03/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 04/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 05/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 06/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 07/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 08/03/2018 | 0,051265158 | 0 | 0 |
| 09/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 10/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 11/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 12/03/2018 | 0,177463167 | 0 | 0,259056651 |
| 13/03/2018 | 0,050566922 | 0 | 0 |
| 14/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 15/03/2018 | 0,467589825 | 0,333777221 | 2,465987059 |
| 16/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 17/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 18/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 19/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 20/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 21/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 22/03/2018 | 0,026209204 | 0 | 0 |
| 23/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 24/03/2018 | 0,259724303 | 0 | 0,774656349 |
| 25/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 26/03/2018 | 0,0113028 | 0 | 0 |
| 27/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 28/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 29/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 30/03/2018 | 0 | 0 | 0 |
| 31/03/2018 | 0 | 0 | 0 |

ANEXO A – Especificações técnicas das microturbinas eólicas



A turbina eólica GERAR 246 foi desenvolvida para atender às necessidades de energia de consumidores individuais ou aplicações específicas. Dependendo da velocidade do vento a turbina GERAR 246 pode atender a uma residência de médio consumo, a demandas como estações de telecomunicação, bombeamento de água, iluminação pública de condomínios ou residenciais, dentre outras.

O GERAR 246 possui um alto rendimento aerodinâmico e alcança até 1000W de potência. O GERAR 246 pode ser aplicado em sistemas isolados (uso de baterias) e conectados à rede por meio de inversores de potência.

| CARACTERÍSTICAS GERAR 246 | |
|---------------------------------------|---|
| Diâmetro da hélice | 2,46 m |
| Potência a 12,5 m/s | 1000 Watt |
| Rotação a 12,5 m/s | 740 rpm |
| Número de pás | 3 |
| Tipo de pás | Torcida (5 aerofólios) |
| Velocidade de partida | 2,0 m/s |
| Torque de partida | 0,3 Nm |
| Controle de velocidade | Stall |
| Proteção contra altas velocidades | Active Stall (Controle de Passo) |
| Sistema magnético | Neodímio(imã permanente) |
| Sistema elétrico | Trifásico |
| Tensão de saída | 24 / 48 / 220 / 400 volts |
| Topologia | Fluxo Axial (com estator encapsulado em resina epóxi) |
| Peso total (alternador+pás+ cab.Rot.) | 35 Kg |
| Material Anti Corrosão | Alumínio / Inox / Mat.Galvanizado |
| Balaceamento | Estático (confirmação após pintura) |



| PRODUÇÃO DE ENERGIA GERAR 246 (kw.h/mês) | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--|
| Altura / Velocidade | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s | |
| Incidência direta | 103 | 130 | 158 | 183 | 206 | 240 | 258 | 264 | 264 | 264 | |
| 25 m | 78 | 101 | 127 | 152 | 175 | 216 | 243 | 259 | 264 | 264 | |
| 18 m | 67 | 89 | 113 | 137 | 160 | 202 | 233 | 253 | 263 | 264 | |
| 15 m | 62 | 83 | 105 | 129 | 152 | 194 | 227 | 249 | 261 | 264 | |
| 12 m | 56 | 75 | 97 | 119 | 142 | 185 | 219 | 243 | 258 | 264 | |
| 09 m | 49 | 67 | 86 | 107 | 129 | 171 | 208 | 235 | 252 | 262 | |

A tabela acima se refere a uma estimativa de energia gerada, em diferentes alturas de torres, considerando um ajuste dos dados de vento medidos a 50 metros de altura e fornecidos pelo mapa eólico Brasileiro.

http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico/index.php

DIFERENCIAIS ENERSUD

- ▶ Produtos fabricados com tecnologia 100% nacional.
- ▶ Turbinas com melhor relação peso / potência do mercado.
- ▶ Patentes deferidas e outras submetidas.
- ▶ Garantia de Fábrica e assistência técnica.
- ▶ Produtos simples e robustos de fácil instalação.
- ▶ Empresa há 12 anos no mercado.
- ▶ Índice de nacionalização superior a 90% permitindo uso de cartão BNDES e FINAME.



ENERSUD
energia limpa

Rua das Pitangueiras, Q10, L31
Inoã, Maricá, RJ - CEP 24.942-970
enersud@enersud.com.br Tel: 021 37100896



RAZEC 266

A turbina eólica RAZEC 266 é uma turbina de eixo vertical que é própria para áreas urbanas, pois apresenta baixa velocidade rotacional, baixíssimo nível de ruído e é adequada para ventos turbulentos e com direção variável, característicos desse tipo de localização.

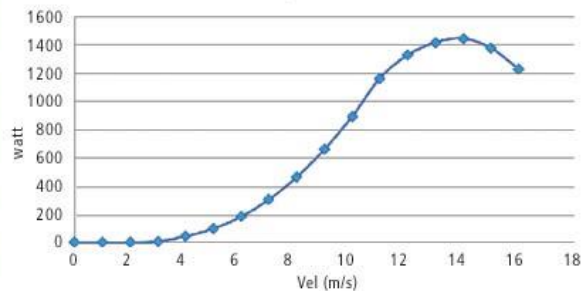
A Turbina RAZEC 266 foi desenvolvida para atender às necessidades de energia, dependendo da velocidade do vento, de uma residência de classe média ou demandas como estações de telecomunicação, bombeamento de água, iluminação pública de condomínios ou residenciais, dentre outras.

A Turbina RAZEC 266 pode ser aplicada em sistemas isolados (uso de baterias) e conectados à rede por meio de inversores de potência.

CARACTERÍSTICAS RAZEC 266

| | |
|---------------------------------------|---|
| Diâmetro do rotor | 2,0 m |
| Altura das pás | 2,66 |
| Potência a 12 m/s | 1500 Watt |
| Rotação a 12 m/s | 60 a 180 rpm |
| Número de pás | 3 |
| Tipo de pás | Prismática, aerofólio assimétrico |
| Velocidade de partida | 2,5 m/s |
| Torque de partida | 0,3 Nm |
| Controle de velocidade | Stall e freio eletromagnético |
| Proteção contra altas velocidades | Stall e freio eletromagnético |
| Sistema magnético | Neodímio (ímã permanente) |
| Sistema elétrico | Trifásico |
| Tensão de saída | 24 / 48 / 220 / 400 volts |
| Topologia do alternador | Fluxo Axial (com estator encapsulado em resina epóxi) |
| Peso total (alternador+pás+ cab.Rot.) | 100 Kg |
| Material Anti Corrosão | Alumínio / Inox / Mat.Galvanizado |
| Balaceamento | Estático (confirmação após pintura) |

Curva de Potência RAZEC 266 em cargas de baterias



PRODUÇÃO DE ENERGIA RAZEC 266 (kw.h/mês)

| Altura / Velocidade | 4,0 m/s | 4,5 m/s | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s |
|---------------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Incidência direta | 62 | 90 | 123 | 159 | 196 | 230 | 269 | 328 | 368 | 390 | 398 | 395 |
| 15 m | 35 | 52 | 73 | 98 | 126 | 157 | 188 | 250 | 305 | 347 | 376 | 392 |
| 12 m | 31 | 47 | 66 | 89 | 115 | 144 | 174 | 235 | 291 | 335 | 367 | 387 |
| 09 m | 27 | 41 | 58 | 78 | 102 | 129 | 157 | 216 | 272 | 319 | 355 | 379 |
| 06 m | 22 | 34 | 48 | 65 | 86 | 109 | 134 | 189 | 244 | 293 | 334 | 364 |

A tabela acima se refere a uma estimativa de energia gerada, em diferentes alturas de torres, considerando um ajuste dos dados de vento medidos a 50 metros de altura e fornecidos pelo mapa eólico Brasileiro.

http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico/index.php

DIFERENCIAIS ENERSUD

- ▶ Produtos fabricados com tecnologia 100% nacional.
- ▶ Turbinas com melhor relação peso / potência do mercado.
- ▶ Patentes deferidas e outras submetidas.
- ▶ Garantia de Fábrica e assistência técnica.
- ▶ Produtos simples e robustos de fácil instalação.
- ▶ Empresa há 12 anos no mercado.
- ▶ Índice de nacionalização superior a 90% permitindo uso de cartão BNDES e FINAME.



ENERSUD
energia limpa

Rua das Pitangueiras, Q10, L31
Inoã, Maricá, RJ - CEP 24.942-970
enersud@enersud.com.br Tel: 021 37100896



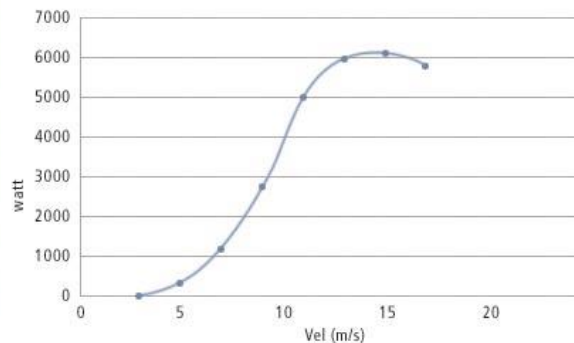
A turbina eólica VERNE 555 foi desenvolvida para atender às necessidades de energia que superam o consumo individual. Dependendo da velocidade do vento a turbina VERNE 555 pode gerar até 6 kw e é ideal para alimentar pequenos conjuntos residenciais, suprir de energia localidades isoladas como ilhas e atender a demandas industriais ou rurais.

O VERNE 555 pode ser aplicado em sistemas isolados (uso de baterias) e conectados à rede por meio de inversores de potência.

CARACTERÍSTICAS VERNE 555

| | |
|---------------------------------------|---|
| Diâmetro da hélice | 5,55 m |
| Potência a 12 m/s | 6000 Watt |
| Rotação a 12 m/s | 240 rpm |
| Número de pás | 3 |
| Tipo de pás | Torcida (10 aerofólios) |
| Velocidade de partida | 2,2 m/s |
| Torque de partida | 0,3 Nm |
| Controle de velocidade | Stall |
| Proteção contra altas velocidades | Active Stall (Controle de Passo) |
| Sistema magnético | Neodímio |
| Sistema elétrico | Trifásico |
| Tensão de saída | 120 / 240 / 400 volts |
| Topologia | Fluxo Axial (com estator encapsulado em resina epóxi) |
| Peso total (alternador+pás+ cab.Rot.) | 198 Kg |
| Material Anti Corrosão | Alumínio / Inox / Mat.Galvanizado |
| Balanceamento | Estático (confirmação após pintura) |

Curva de Potência VERNE 555 operando em baterias



PRODUÇÃO DE ENERGIA VERNE 555 (kw.h/mês)

| Altura / Velocidade | 5 m/s | 5,5 m/s | 6 m/s | 6,5 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s |
|---------------------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 50 m | 661 | 840 | 1025 | 1208 | 1383 | 1686 | 1908 | 2047 | 2114 | 2122 |
| 25 m | 505 | 654 | 816 | 983 | 1150 | 1464 | 1725 | 1918 | 2044 | 2108 |
| 18 m | 442 | 577 | 726 | 886 | 1043 | 1353 | 1625 | 1838 | 1989 | 2080 |
| 15 m | 409 | 537 | 679 | 830 | 985 | 1292 | 1566 | 1789 | 1952 | 2057 |
| 12 m | 372 | 491 | 624 | 767 | 916 | 1217 | 1493 | 1726 | 1903 | 2024 |

A tabela acima se refere a uma estimativa de energia gerada, em diferentes alturas de torres, considerando um ajuste dos dados de vento medidos a 50 metros de altura e fornecidos pelo mapa eólico Brasileiro.

http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico/index.php

DIFERENCIAIS ENERSUD

- ▶ Produtos fabricados com tecnologia 100% nacional.
- ▶ Turbinas com melhor relação peso / potência do mercado.
- ▶ Patentes deferidas e outras submetidas.
- ▶ Garantia de Fábrica e assistência técnica.
- ▶ Produtos simples e robustos de fácil instalação.
- ▶ Empresa há 12 anos no mercado.
- ▶ Índice de nacionalização superior a 90% permitindo uso de cartão BNDES e FINAME.



ENERSUD
energia limpa

Rua das Pitangueiras, Q10, L31
Inoã, Maricá, RJ - CEP 24.942-970
enersud@enersud.com.br Tel: 021 37100896