

**INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**RIO GRANDE DO SUL**  
Câmpus Farroupilha

## **ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE MICROGERADORES EÓLICOS NA SERRA GAÚCHA**

**Carlos Henrique Biondo Seben, caike\_seben@hotmail.com**  
**Alexandre José Bühler (co-orientador), alexandre.buhler@farroupilha.ifrs.edu.br**  
**Ivan Jorge Gabe (orientador), ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Câmpus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785 – Cinquentenário, Farroupilha-RS.

**Resumo:** *Um dos grandes desafios nos dias atuais é a redução na emissão dos gases do efeito estufa, visto que sua produção gera diversos malefícios para o meio ambiente. Por meio das diversas soluções de engenharia que tem sido desenvolvidas para este fim, nota-se um grande crescimento na produção e utilização de energias renováveis. Dentre elas, pode-se destacar a energia eólica, ou energia produzida a partir dos ventos, que apresenta grande competitividade com os sistemas usuais e gera pequenos índices de degradação ao meio ambiente. Este trabalho de conclusão de curso, visa analisar a viabilidade na implantação de geradores eólicos na serra gaúcha. Trata-se de uma grande oportunidade para a redução de custos, fazendo uso da legislação que permite a compensação da energia gerada nas suas contas de energia, além de trazer o diferencial de promover soluções ambientalmente corretas. O estudo ocorreu por meio de um levantamento de dados climáticos de velocidade e direção de ventos, sua distribuição estatística e comparação com as curvas de carga de duas turbinas eólicas disponíveis no mercado nacional. Os resultados obtidos mostram a importância da necessidade de medidas durante longos períodos de tempo para aumento da confiabilidade dos resultados de dimensionamento de aerogeradores.*

**Palavras-chave:** *Meio Ambiente, Energias Renováveis, Energia Eólica.*

### **1. INTRODUÇÃO**

No mundo atual, em um contínuo e exponencial crescimento econômico e populacional, a demanda global por energia também segue em ascensão. Como já se sabe, a economia atual ainda é muito dependente dos combustíveis fósseis, sendo este um problema que vem preocupando muitos governos, instituições ambientais e sociais, visto que esta dependência contribui em elevados índices na emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

De acordo com o Global Carbon Project, os níveis de CO<sub>2</sub> produzidos no planeta ainda são extremamente altos, fazendo com que países de grande população, como China, Índia e Estados Unidos, sejam os líderes neste segmento produtivo, atingindo valores entre 5 a 10 mil Mega toneladas de CO<sub>2</sub> ao ano, conforme Figura 01.

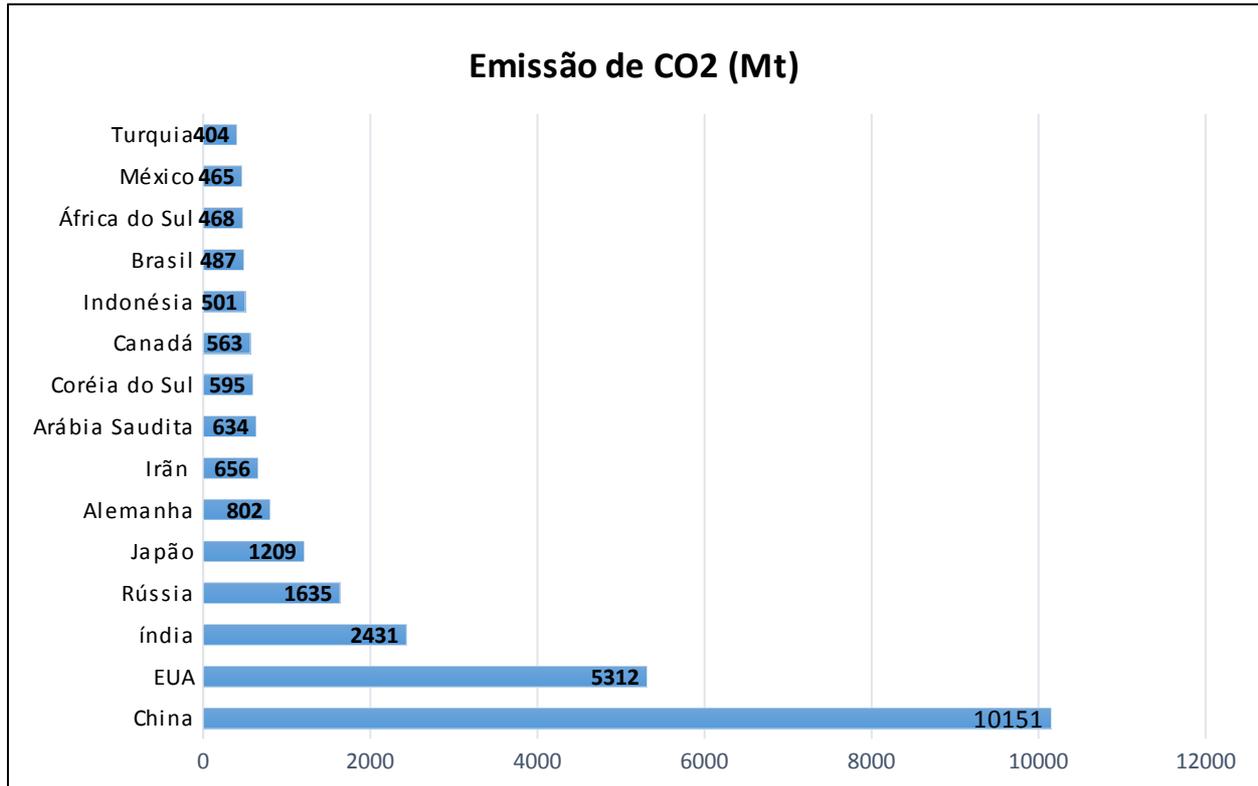
Devido aos combustíveis fósseis serem recursos finitos e extremamente prejudiciais ao meio ambiente em diversos aspectos, como por exemplo: mudanças climáticas, poluição do ar, degradação ambiental, etc, é necessário buscar alternativas ao seu uso. Deste modo, torna-se de suma importância o estudo e o desenvolvimento de novas formas de obtenção de energia, com um processo cada vez mais limpo e seguro, promovendo a diminuição no consumo dos combustíveis fósseis e estimulando o uso eficiente de energia.

Inúmeras instituições de pesquisa, governos e a iniciativa privada estão desenvolvendo novas tecnologias e recursos para obtenção de energias renováveis, sejam elas provenientes do sol, vento, terra ou mar. Nos últimos anos, notou-se um grande avanço e crescimento neste segmento, principalmente com relação à energia eólica e solar. Um exemplo deste crescimento foi observado junto a um estudo realizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, conhecido como NREL (National Renewable Energy Laboratory), que fomenta iniciativas tecnológicas e promove, com auxílio do governo, o avanço do mercado de energias renováveis através de estudos eficazes de sustentabilidade. Segundo o panorama do setor de eletricidade dos Estados Unidos, publicado em outubro de 2017, a energia solar e eólica cresceu acentuadamente nos últimos anos, aumentando quase uma ordem de magnitude de 0,7%

do total produzido em 2006, para 6,8% em 2016. Em comparação a estes dados, a energia total produzida a partir da energia hidrelétrica, geotérmica e fontes de biomassa, permaneceu praticamente constante ao longo desse período, sendo cerca de 8,5%.

De acordo com as estatísticas globais sobre o vento, o Brasil está na lista dos maiores produtores de energia eólica do mundo, graças a um crescimento exponencial neste segmento na última década.

Com relação à produção de energia elétrica em larga escala, o levantamento estatístico realizado pelo Global Wind Energy Council, aponta que o Brasil foi o oitavo colocado no ranking mundial em geração de energia eólica durante o ano de 2017, com cerca de 12.763 MW (Megawatt), sendo que em 2013 era considerado apenas o 15º colocado neste ranking. A Figura 02 demonstra os países que mais produziram energia elétrica a partir da fonte eólica.



**Figura 01 – Ranking dos países que mais produziram CO2, em Mega toneladas, no ano de 2016.**  
**Fonte: Adaptado de Global Carbon Project (2016).**

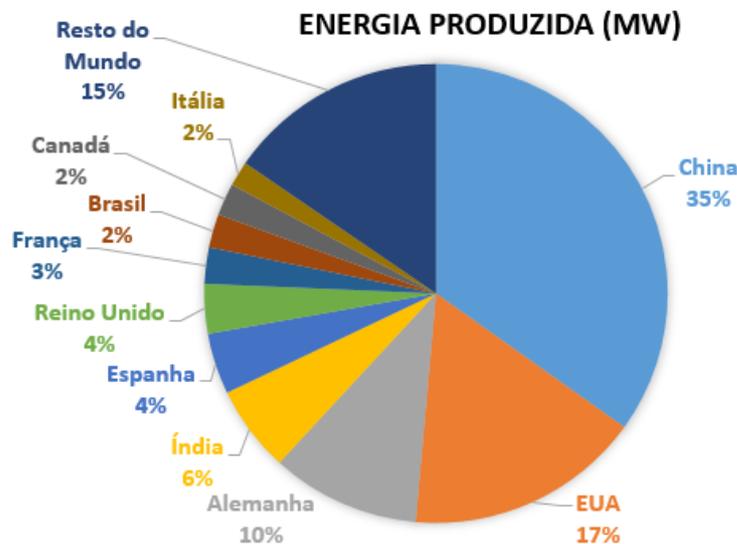
De acordo com dados divulgados pela ABEEólica em fevereiro de 2018, no ano de 2016, o país conseguiu ultrapassar a Itália no ranking mundial de capacidade instalada, ocupando a 9ª posição e, além disso, no ranking de nova capacidade instalada, o Brasil ficou em 5º lugar, com 2 GW (Gigawatt) de nova capacidade.

Através da resolução 482/2012 da ANEEL, ficaram definidas que micro e minigeração de energia distribuída podem produzir energia elétrica por meio de pequenas centrais geradoras de energia que utilizam fontes alternativas, renováveis e limpas, como a energia hidráulica, solar, eólica ou biomassa, conectadas à rede de distribuição. A microgeração também pode ser compreendida como um pequeno sistema fornecedor de energia, com potência instalada de até 75kW, destinado a alimentar a unidade consumidora no regime de compensação de energia, fornecendo energia para a rede elétrica quando esta está produzindo. Para potências maiores de 75kW e menores de 5MW, são definidas como sistemas de minigeração.

Tendo em vista que a produção de energia limpa é destaque no Brasil, a micro e pequena geração de energia, mesmo possuindo um grande potencial inexplorado no campo da energia eólica, têm se tornado cada vez mais importante na contribuição do fornecimento de energia elétrica no país, produzindo energia próxima ao local de consumo através de equipamentos como: painéis fotovoltaicos, minigeradores eólicos, células de combustível, entre outros, vide Tavares *et al.* (2015).

Devido à grande demanda por energia limpa e às possíveis reduções nos custos nas faturas de energia, a produção por meio da energia eólica em pequeno porte tende a se tornar uma tecnologia promissora tanto no Brasil como no mundo, fazendo com que muitas residências e indústrias sejam capazes de gerar energia a partir de seus próprios sistemas autônomos e consigam reduzir seus gastos relacionados à tarifa que lhes é cobrada.

País	Energia produzida (MW)	Distribuição (%)
China	188,32	35
EUA	89,077	17
Alemanha	56,132	10
Índia	32,848	6
Espanha	23,17	4
Reino Unido	18,872	3
França	13,759	3
Brasil	12,763	2
Canadá	12,239	2
Itália	9,479	2
Resto do Mundo	83,008	15
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>539,581</b>	<b>100</b>



**Figura 02 - Mundo: Geração de energia elétrica proveniente dos ventos de acordo com os países que mais produziram durante o ano de 2017.**

**Fonte: Adaptado de GWEC (Global Wind Energy Council).**

Por meio de um estudo realizado pelo Wind Power Program (2013), atualmente as turbinas eólicas de pequeno porte, projetadas em ótimas condições, possuem uma eficiência de aproximadamente 35% em velocidades acima de 6 m/s, fazendo com que os minigeradores eólicos ganhem espaço no mercado eólico na faixa de potência da microgeração distribuída. Dentre os rotores mais utilizados no segmento de pequenas produções de energia eólica, destacam-se, da esquerda para a direita, o rotor horizontal, Savonius, Darrieus e H-Darrieus, conforme a Figura 03.

Para a implementação de micro e pequenos geradores eólicos, assim como os geradores de grande potência, faz-se necessário uma coleta de dados climáticos na região de estudo, visando analisar a viabilidade de instalação de uma turbina de acordo com os perfis de velocidade de atuantes no local. Através destas análises, torna-se possível escolher um modelo de gerador viável e eficiente para a região de operação. Tendo em vista que o Rio Grande do Sul é um dos estados em ascensão na produção de energia eólica e o 4º maior estado com Potência Instalada (MW) no país, conforme Figura 04, a empresa Silvestrin Frutas, localizada na serra gaúcha, por meio de parcerias e intermediações, decidiu implementar em suas instalações um sistema de coleta de dados climáticos na região, com a intenção de compreender melhor os perfis de velocidade do vento, de acordo com a época do ano e suas respectivas variações climáticas ao longo das estações. Através destes dados extraídos, a empresa terá a possibilidade de determinar o perfil de velocidade do vento atuante na localidade, dimensionar um sistema eólico e verificar a viabilidade econômica do negócio.

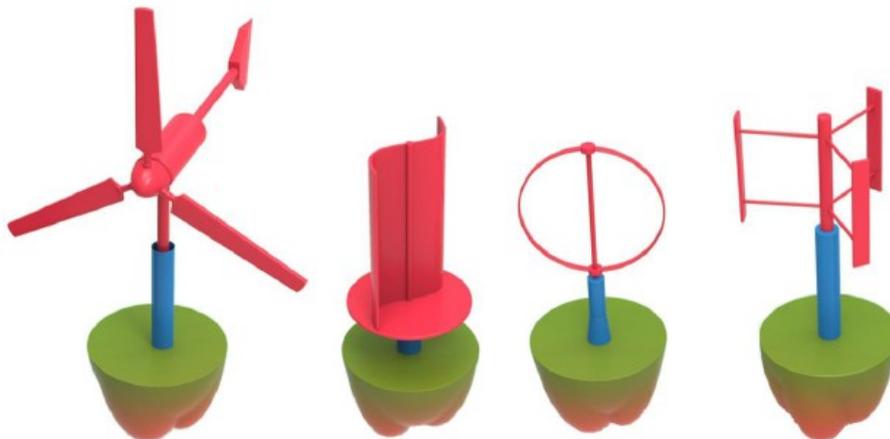


Figura 03 – Tipos de rotores utilizados em geradores eólicos de pequeno porte (da esquerda para a direita, o rotor horizontal, Savonius, Darrieus e H-Darrieus).

Fonte: Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (2015).

Portanto, através deste trabalho, buscou-se analisar a viabilidade na instalação de microgeradores eólicos que possam vir a serem utilizados na região da serra gaúcha, levando em consideração a sua eficiência na produção de energia elétrica e seus possíveis custos relacionados a aquisição, instalação e manutenção do mesmo.

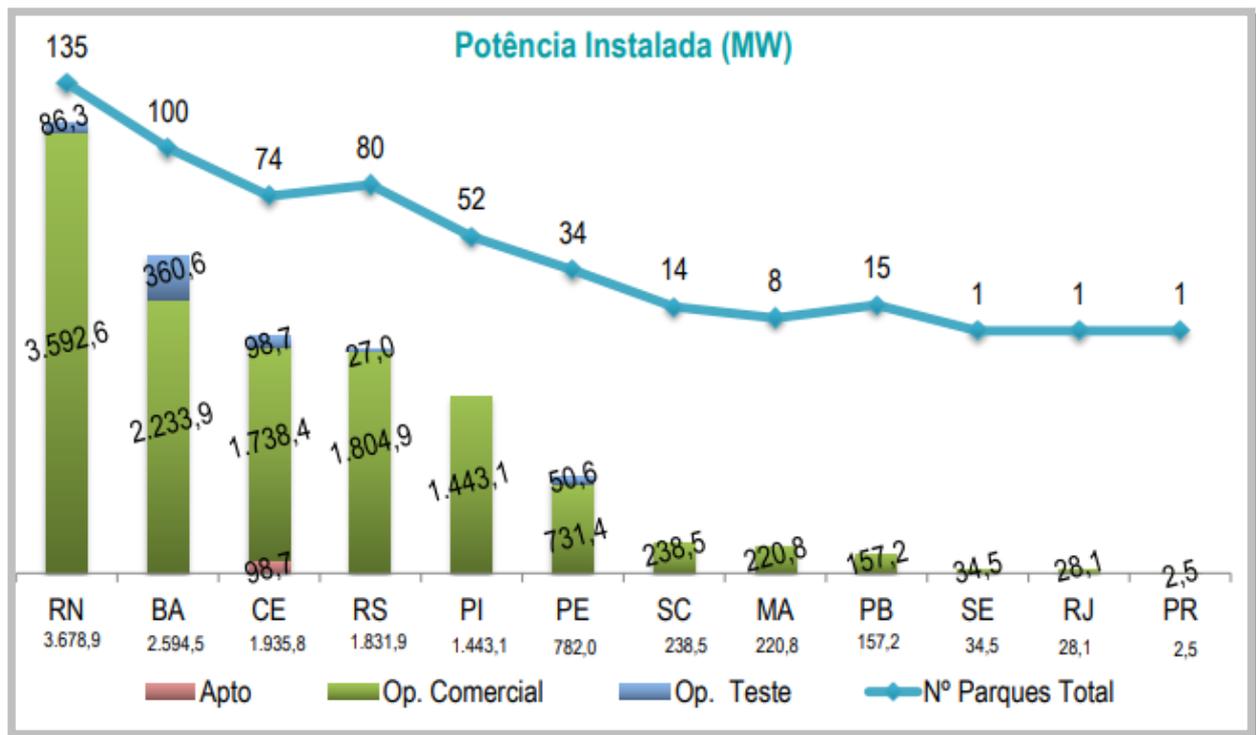


Figura 04 - Brasil: Geração de energia elétrica e potência instalada por estado (2018).

Fonte: ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão descritos os fundamentos básicos da conversão da energia dos ventos bem como os elementos básicos de um sistema de geração eólico necessários para o seu dimensionamento e análise. Primeiramente, será analisado como a energia cinética dos ventos é extraída a partir de uma turbina eólica.

### 2.1. Energia dos Ventos

Sabe-se que a energia disponível para uma turbina eólica entrar em funcionamento é chamada de energia cinética do ar em movimento, ou mais conhecida como vento. Como este ar possui massa e velocidade, torna-se possível calcular sua energia cinética pela seguinte equação:

$$Ec = \frac{m v^2}{2} \tag{1}$$

Onde:

- Ec = energia cinética [J];
- m = massa do ar [kg];
- v = velocidade da massa de ar em movimento (vento) [m/s].

Já a potência, grandeza na qual as turbinas eólicas são comumente classificadas, pode ser definida como:

$$P = \frac{dEc}{dt} = \frac{\dot{m} v^2}{2} \tag{2}$$

Onde:

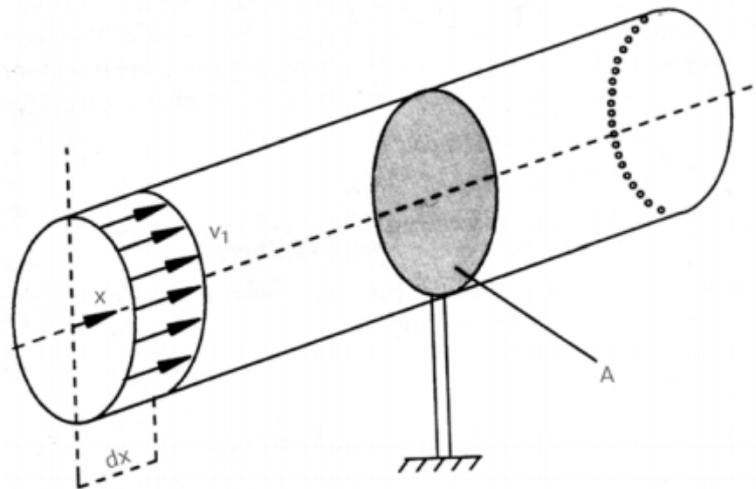
- P = potência disponível no vento [W];
- t = tempo [s];
- $\dot{m}$  = fluxo de massa de ar [kg/s].

Quando há um fluxo de massa de ar ( $m$ ), que passa por uma área ( $A$ ) em um intervalo de tempo ( $t$ ), conforme a Figura 05, tem-se que a taxa de variação de massa é:

$$\dot{m} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A v \tag{3}$$

Sendo:

- A = área da seção transversal [m<sup>2</sup>];
- $\rho$  = densidade do ar [kg/m<sup>3</sup>].



**Figura 05 – Fluxo de ar fluindo através de uma área transversal (A).**

**Fonte: Marques (2004).**

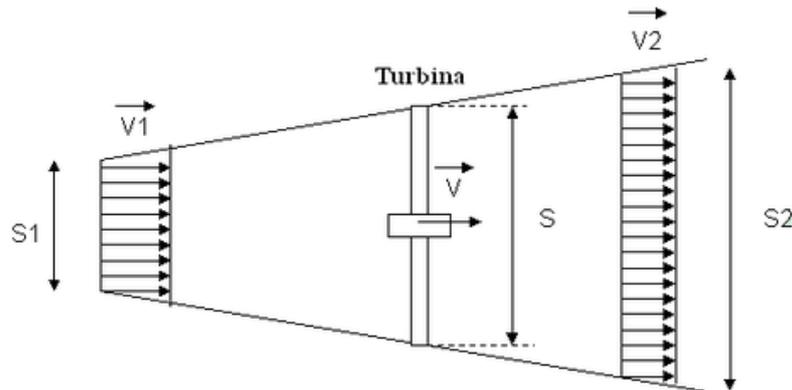
Sendo assim, substituindo a Eq. (3) em Eq. (2), torna-se possível obter a potência disponível no vento que passa pela seção (A), transversal ao fluxo de ar. A mesma é dada por:

$$P = \frac{\rho A v^3}{2} \tag{4}$$

Onde:

- P = potência do vento [W].

De acordo com a bibliografia de Marques *et al.* (2004) e Custódio *et al.* (2009), uma turbina eólica não é capaz de extrair completamente a potência disponível do vento. Hipoteticamente, isto só seria possível se a velocidade do vento atrás da área de varredura das pás da turbina fosse zero, ou seja, velocidade ( $v_2$ ) igual à zero. No entanto, esta condição descrita não é possível de ser atendida, tendo em vista que a mesma viola a lei da continuidade de energia. Em contrapartida, se a velocidade do vento na frente da área de varredura fosse a mesma que a velocidade atrás desta área ( $v_1=v_2$ ), a potência gerada também seria zero. Sendo assim, entre estas duas hipóteses citadas há um ponto perfeito de operação, na qual ocorre a máxima extração possível de energia pela turbina eólica.



**Figura 06 – Representação da variação da velocidade do vento em uma turbina (Lei de Betz).**  
**Fonte: Micro Eólica.**

A Lei de Betz, desenvolvida pelo alemão Albert Betz, determina que a eficiência máxima possível para uma turbina eólica é de 59,3%, ou seja, se a extração de energia do vento não tiver perdas, somente 59,3% da energia do vento poderá ser transformada em energia mecânica pela turbina eólica, vide Marques *et al.* (2004). No entanto, as eficiências atingidas para turbinas de grande porte atualmente são inferiores a este valor, cerca de 45%, visto que esta eficiência depende de diversos fatores, como: número de pás, aerodinâmica, tipo de rotor, entre outros parâmetros.

## 2.2. Componentes Básicos de um Aerogerador

Para a compreensão e entendimento sobre o funcionamento de um gerador eólico de grande produção, torna-se de suma importância conhecer os componentes mecânicos e elétricos de um aerogerador.

Em relação ao eixo de rotação, os aerogeradores podem ser classificadas como turbinas de eixo vertical ou de turbinas de eixo horizontal. De acordo com o Centro de Energia Eólica da PUC-RS (CE), os geradores de eixo horizontal são os modelos comumente utilizados, sendo que existe grande concentração de pesquisa e melhorias estão voltadas para a sua utilização. Estes rotores, são predominantemente movidos por forças de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e normalmente possuem mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre na posição perpendicular ao vento. Já as turbinas de eixo vertical, são utilizadas principalmente por possuírem melhores rendimentos em ventos turbulentos e por emitirem baixos níveis de ruído durante seu funcionamento. Nestes geradores, a captação da energia dos ventos ocorre sem que haja alteração na posição do rotor com a mudança na direção dos ventos e, nestes casos, são movidos por forças de sustentação e de arrasto. Os rotores de eixo vertical se destacam por trabalharem com grandes torques e baixas rotações, sendo eficientes para trabalhos pesados como moer grãos ou puxar água, de acordo com Acioli *et al.* (1994).

Conforme Pires *et al.* (2009), uma vez que a eletricidade em geradores eólicos é obtida por um alternador que transforma movimento de rotação em energia elétrica, os equipamentos com maior velocidade de rotação são os mais indicados para esse fim, ou seja, os geradores eólicos de eixo horizontal. A Figura 07 apresenta uma exemplificação entre uma turbina eólica com eixo horizontal e com eixo vertical.

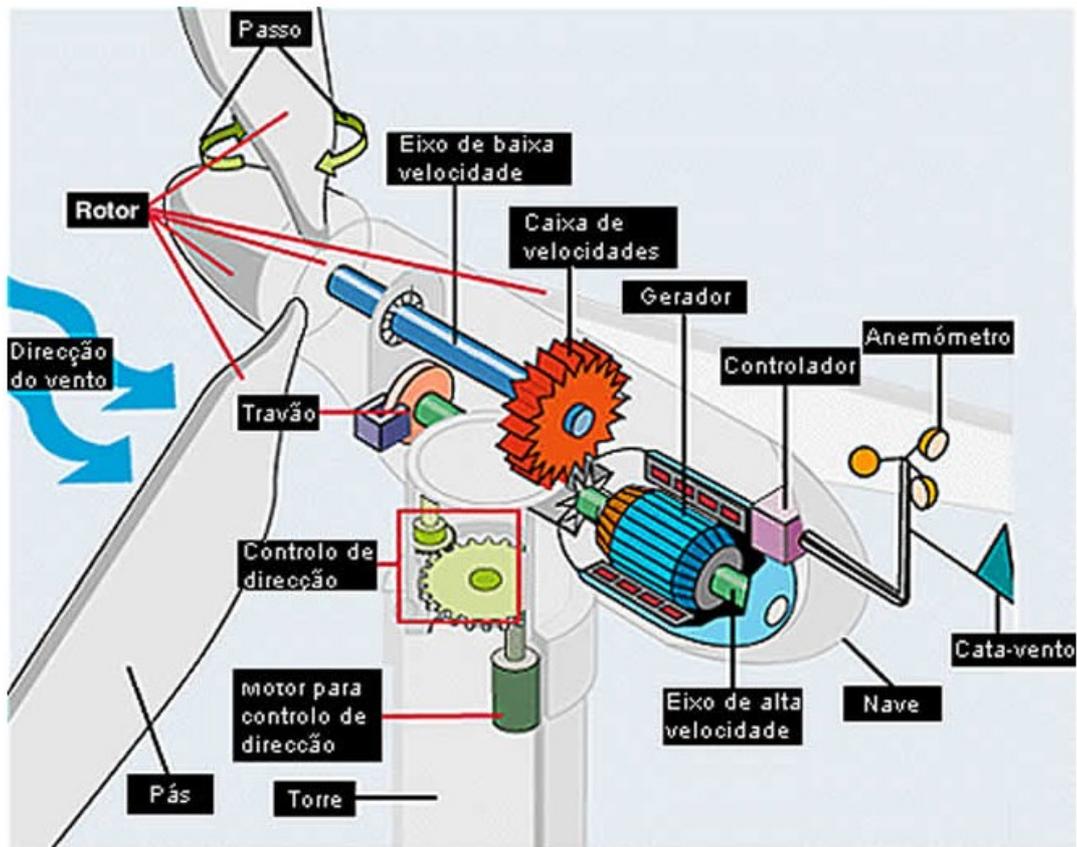


(a) (b)  
**Figura 07 – Turbina eólica com eixo horizontal (a) e turbina eólica com eixo vertical (b).**  
**Fonte: Ambiente Energia (2014) e Evolução da Tecnologia AALP (2012).**

Para operar adequadamente e realizar as transformações de energia necessárias para a geração de energia elétrica, um aerogerador precisa ser composto por alguns componentes e sistemas. Tendo em vista que estes componentes são essenciais para o entendimento sobre o funcionamento de um aerogerador, a Figura 08 demonstra detalhadamente as partes de uma turbina eólica.

De acordo com vários trabalhos (Ramos, 2011; Marques, 2004 e Custódio, 2009), os componentes fundamentais de um gerador eólico de grandes produções podem ser especificados da seguinte maneira:

- **Torre (Tower):** é o elemento que sustenta o rotor e a nacela na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica. Normalmente são construídas de aço, treliças ou concreto.
- **Casa de máquinas (Nacela):** compartimento instalado no alto da torre que abriga todo o mecanismo do gerador, podendo incluir mancais, controles eletrônicos, freios, entre outros.
- **Rotor (Rotor):** componente responsável pela transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. O rotor também é utilizado para a fixação das pás da turbina, onde o mesmo é conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, por meio de uma caixa multiplicadora.
- **Caixa multiplicadora ou Caixa de Velocidades (Gear Box):** este é o mecanismo que transmite a energia mecânica do eixo ao gerador, por meio de uma relação de transmissão de engrenagens. Normalmente, para grandes produções de energia, a caixa multiplicadora pode aumentar rotações de 10-60 rpm para, aproximadamente, 1200-1800 rpm. No entanto, existem configurações que não utilizam caixa de engrenagem, devido à utilização de geradores que operam em baixas velocidades.
- **Gerador (Generator):** componente responsável pela conversão da energia mecânica do eixo em energia elétrica.
- **Pás (Blades):** são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Normalmente, são fabricadas em fibra de vidro e podem ser reforçadas com outros tipos de materiais. Em turbinas que utilizam o sistema de controle por passo, onde as pás podem girar em torno de seu eixo longitudinal, as pás dispõem de rolamentos em sua base, possibilitando que as mesmas girem para alteração de seu ângulo de ataque.
- **Anemômetro (Anemometer):** equipamento que mede a velocidade e intensidade do vento e transmite estes dados ao controlador do gerador eólico.
- **Controlador (Controller):** utilizado para a partida ou desligamento da turbina, através de seu monitoramento nas partes da mesma.
- **Biruta:** sensor que capta a direção do vento.



**Figura 08 - Principais componentes de uma turbina eólica de grande geração.**  
**Fonte: Indústria Hoje (2014).**

Conforme descrito anteriormente, ter conhecimento sobre os componentes de uma turbina eólica é fundamental para o entendimento de seu funcionamento. No entanto, para compreender como ocorre o armazenamento e distribuição da energia gerada a partir de um gerador eólico, é necessário conhecer os equipamentos que compõem um sistema eólico autônomo, geralmente usado na microgeração eólica, vide Figura 09. Conforme o Centro de Energia Eólica da PUC-RS (CE), um sistema eólico pode ser basicamente composto por:

- **Turbina eólica:** atua como um gerador de energia elétrica, a partir da energia cinética obtida pelos ventos.
- **Baterias:** funcionam como armazenadoras de energia elétrica, tornando possível a utilização desta energia em momentos posteriores.
- **Controlador de carga:** dispositivo que protege as baterias do sistema contra possíveis sobrecargas ou descargas excessivas.
- **Inversor:** componente eletrônico que realiza a conversão de energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), tornando possível a utilização desta energia em aparelhos domésticos. Porém, em alguns sistemas pequenos não há utilização de inversores, fazendo com que a alimentação ocorra diretamente em corrente contínua.

Uma vez aberta a possibilidade de trabalhar com compensação de energia elétrica para sistemas de microgeração, o banco de baterias não se torna mais necessário. Ainda, de acordo com a potência e aplicabilidade das turbinas eólicas, os sistemas eólicos podem ser classificados como:

- **Sistemas para microgeração de energia:** sistemas de pequeno porte com potência instalada de até 75 kW, utilizadas para pequenos aproveitamentos eólicos conectados à rede elétrica para fins de compensação de energia elétrica em residências e estabelecimentos comerciais, conforme regras da ANEEL.
- **Sistemas híbridos:** sistemas intermediários, onde a turbina eólica trabalha paralelamente com outra fonte de energia (geradores com motor a diesel ou módulos fotovoltaicos). Normalmente, possuem uma potência instalada de 10 a 250 kW e possuem uma geração de energia distribuída para um maior número de estabelecimentos, podendo estar conectada à rede ou operando de forma isolada.

- **Sistemas de grande porte:** são sistemas de grande porte, na qual estão conectados à rede de distribuição de energia. Estes sistemas produzem energia diretamente na rede elétrica convencional, sendo assim, são chamados de usina geradora de energia ou parques eólicos e, geralmente, possuem um grande número de aerogeradores. Nestes casos, a potência instalada está acima de 5 MW.

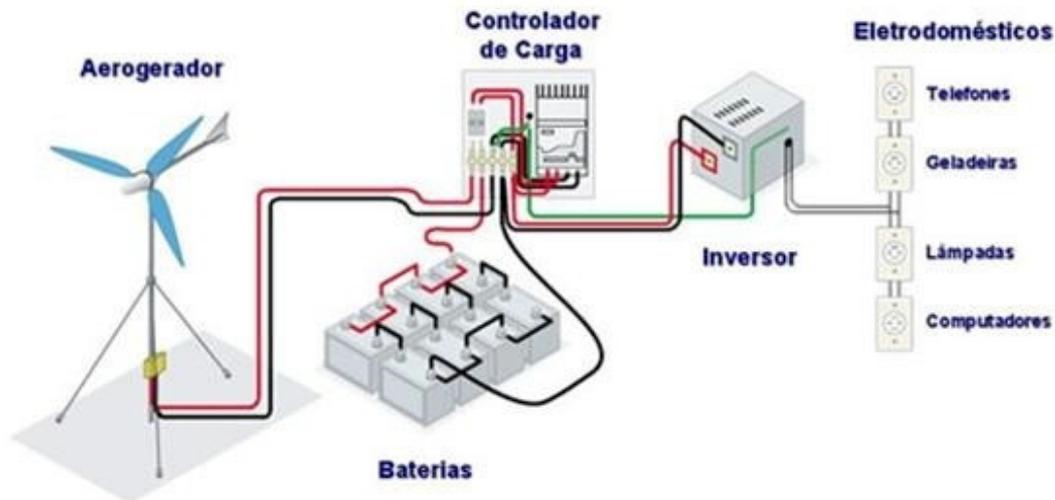


Figura 09 – Esquematização de um sistema eólico autônomo.  
Fonte: CRESESB (2014).

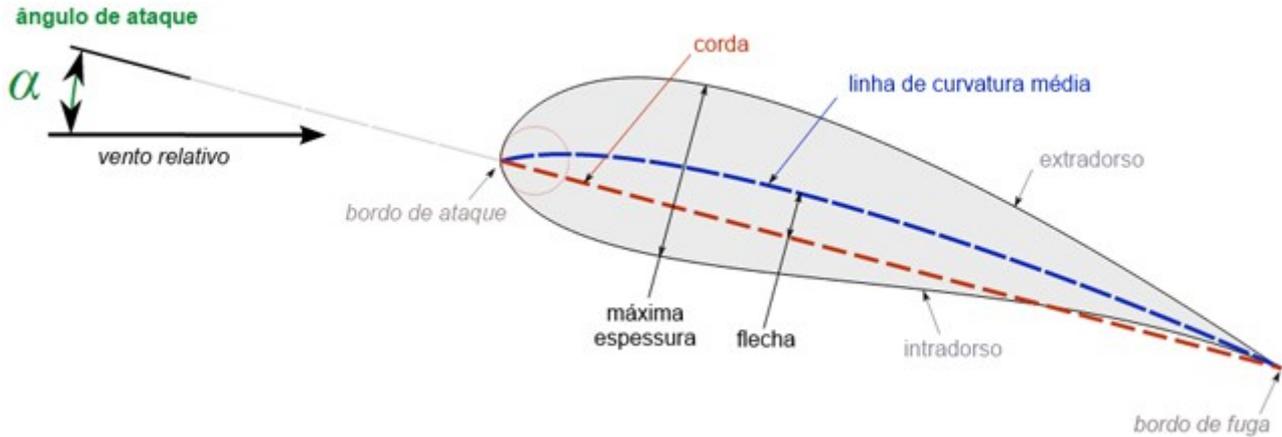
### 2.3. Princípios de Controle Aerodinâmico

A partir da distribuição estatística da frequência de velocidades de ventos em uma determinada região, é possível verificar quanta energia uma determinada turbina eólica é capaz de gerar. A capacidade de gerar energia da turbina eólica, para diferentes velocidades de vento, é dada pela sua curva de carga e essa característica está atrelada ao controle aerodinâmico que os diferentes tipos de turbinas utilizam. Segundo Custódio *et al.* (2009), a pá do rotor de uma turbina eólica possui um perfil especialmente projetado, sendo similar aos usados nas asas dos aviões, fazendo com que as forças aerodinâmicas geradas ao longo deste perfil transformem a energia cinética do vento em energia mecânica rotacional. Tendo em vista que em alguns momentos a velocidade do vento pode exceder a velocidade nominal de operação de um aerogerador, torna-se necessário limitar a potência mecânica da turbina por meio de controles aerodinâmicos. As turbinas atuais utilizam dois princípios de controle diferentes:

- **Controle passivo:** conhecido como controle por estol (*stall control*), é um sistema onde as pás do rotor são fixas e não podem ser giradas em torno de seu eixo longitudinal. Neste caso, o ângulo de ataque é praticamente constante, ou seja, o mesmo é escolhido de tal maneira que, para velocidades de vento acima da velocidade nominal de operação, o fluxo de ar se desprende da superfície da pá (estol) formando regiões de turbulência entre eles. Nestas situações onde ocorre o estol, sempre haverá reduções na força de sustentação e elevações na força de arrasto, fazendo com que a potência de saída da turbina seja totalmente controlada. Como vantagem, este sistema possui uma estrutura de cubo do rotor simplificada, auto-controle da potência, baixa manutenção e inexistência de sistemas elétricos para controle de passo. No entanto, este sistema de controle causa elevadas sobrecargas mecânicas nas pás.
- **Controle ativo:** chamado de controle de passo (*pitch*), é um sistema no qual as pás do rotor podem girar em torno de seu eixo longitudinal e que necessita de um sinal do gerador de potência para funcionar adequadamente. Nos casos em que a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido a elevadas velocidades de vento, as pás do rotor são giradas em torno de seu eixo, fazendo com que ocorra o aumento do ângulo de ataque do fluxo de ar. Desta maneira, as forças atuantes nas pás irão reduzir e o ângulo de ataque será definido de tal maneira que a turbina produza apenas a potência nominal. Como vantagem, o controle por passo apresenta maiores produções de energia, controle de potência sob todas as condições de vento atuantes, partida simples do rotor pela mudança de passo, entre outras.

Para facilitar o entendimento dos controles aerodinâmicos descritos anteriormente, torna-se de suma importância compreender o funcionamento do ângulo de ataque de uma pá aerodinâmica. Através da definição dada pela Learn Engineering, pode-se dizer que o ângulo de ataque é o ângulo entre a corda da pá e o vento relativo, ou seja, ele está diretamente associado a curvatura do perfil aerodinâmico da pá em relação a força normal do seu centro de gravidade,

conforme apresentado na Figura 10. Quando o vento está em baixas velocidades, o ângulo de ataque estará na posição de máxima extração de potência, sendo que para velocidades de vento acima da velocidade de máxima extração, o ângulo será modificado para manter a potência constante e proteger a integridade do gerador eólico (método utilizado nos controles de passo).



**Figura 10 – Demonstração do ângulo de ataque atuante em uma pá aerodinâmica.**  
**Fonte: Canal Piloto (2013).**

## 2.4. Análises do Recurso Eólico

Segundo Custódio *et al.* (2009), o vento apresenta variações significativas e repentinas, sendo que o estudo de seu comportamento é realizado por meio de análises probabilísticas. Tendo em vista que o vento possui características inesperadas ao longo do período de análise e sua velocidade é uma variável fundamental para o levantamento do potencial energético, a compreensão dos dados de vento à serem coletados pode ser realizada por meio de uma tabulação de dados na forma de frequência de distribuição. Por padrão de estudos relacionados à energia eólica, os dados de velocidade são divididos em faixas de 1 m/s, sendo relacionados de acordo com o número de suas ocorrências nos sensores de captação da região e suas frequências relativas, em porcentagem. A Tabela 01 descreve um exemplo de como ocorre esta tabulação de valores.

**Tabela 01 – Exemplificação da tabulação de dados de vento na forma de frequência de distribuição.**  
**Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

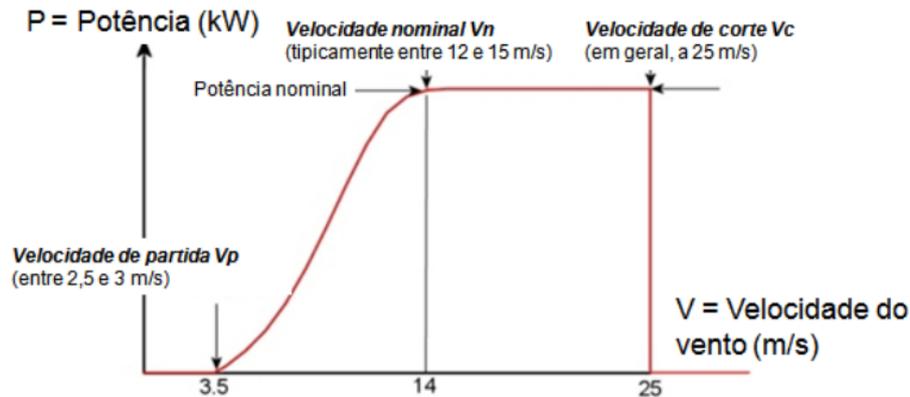
FREQUÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DO VENTO		
Vel do Vento (m/s)	Nº de Ocorrências	Frequência Relativa (%)
0-1	2	3
1-2	6	9
2-3	12	18
3-4	23	35
4-5	15	23
5-6	8	12
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>100</b>

Após todos os dados serem tabulados, os mesmos podem ser representados graficamente por meio de histogramas das frequências de distribuição da velocidade do vento, facilitando a visualização de seu comportamento na região de estudo e, posteriormente, auxiliando na escolha do aerogerador adequado para o local. Além disso, a tabulação dos dados colabora na compreensão das velocidades predominantes na região, dos meses com maior e menor índice de vento (caso os sensores informem a hora e o mês da coleta destes dados), das direções atuantes, etc.

A partir deste ponto, torna-se necessário a compreensão sobre a curva de potência de uma turbina eólica, tendo em vista que para a seleção adequada do equipamento, deve-se ocorrer um cruzamento de dados entre a estatística de velocidade do vento predominante com a curva de potência do gerador selecionado.

## 2.5. Curva de Potência

A potência produzida por um gerador eólico depende da velocidade do vento incidente em suas pás, desta maneira, cada turbina eólica possui uma curva de desempenho de energia (Potência x Velocidade do Vento), a qual é chamada de curva de potência, ou curva de carga, Pessanha *et al.* (2010). Através desta curva, pode-se analisar e prever possíveis índices de produção de energia de um determinado aerogerador e, também, extrair dados importantes como: a velocidade do vento para partida do movimento do equipamento, a potência nominal, a velocidade nominal, entre outros, como apresentado na Figura 11.



**Figura 11 – Curva de potência usualmente extraída de turbinas eólicas de grande escala.**  
Fonte: Pessanha (2010).

Como explicado anteriormente, uma turbina eólica ideal só é capaz de extrair cerca de 59,3% da potência disponível no vento. No entanto, uma turbina eólica real conseguirá extrair somente uma parte deste valor, visto que existem perdas aerodinâmicas associadas à estas conversões de energia. Conforme descrito por Custódio *et al.* (2009), o coeficiente de potência ( $C_p$ ) indica a relação entre a potência realmente extraída do vento por uma turbina eólica e a potência disponível no vento. A equação que descreve o coeficiente de potência é:

$$C_p = \frac{2 P_t}{\rho A v^3} \quad (5)$$

Onde:

- $C_p$  = coeficiente de potência de uma turbina eólica [adimensional];
- $P_t$  = potência produzida pela turbina eólica [W];
- $\rho$  = massa específica do ar [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $A$  = área varrida pelo rotor da turbina [ $\text{m}^2$ ];
- $v$  = velocidade do vento [m/s].

O coeficiente de potência de uma turbina varia de acordo com a velocidade do vento. Esta variação, é decorrente da alteração da eficiência aerodinâmica das pás do rotor em função da variação da velocidade do vento atuante. A posterior conversão em energia elétrica, ou em qualquer outra forma de energia, como moinhos e bombas, ainda inclui outra redução de potência devido aos rendimentos dos demais equipamentos do sistema, como gerador, caixa de transmissão, etc, vide Custódio *et al.* (2009).

## 3. METODOLOGIA E RESULTADOS OBTIDOS

Procurando encontrar melhorias, diminuir custos e reduzir a dependência energética face aos combustíveis fósseis, a empresa Silvestrin Frutas, situada na cidade de Farroupilha, no Rio Grande do Sul, estudou e avaliou as condições climáticas na região de suas instalações. Visto que o Rio Grande do Sul é um dos estados brasileiros em destaque na geração de energia a partir dos ventos, esta empresa, com auxílio de parceiros internacionais, implementou um estudo voltado para a compreensão do comportamento do vento durante um período de dez meses seguidos (junho de 2015 a março de 2016). A coleta de dados, realizada por um anemômetro de colher e sensores de direção, ocorreu a cerca de 20

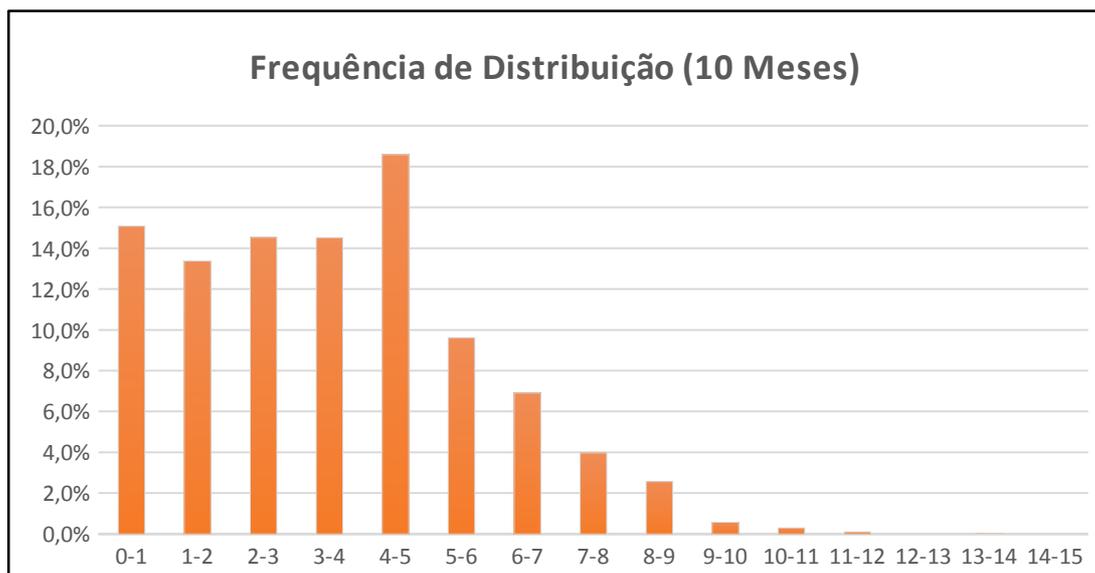
metros do solo, registrando velocidades do vento, direções predominantes, temperatura, pressão entre outros dados, em períodos de 30 minutos em 30 minutos. Após todas as coletas serem finalizadas, os dados foram agrupados e organizados em planilhas eletrônicas, de acordo com os meses analisados, com a intenção de encontrar as velocidades do vento atuantes na região e suas frequências relativas, tendo em vista que estes dados indicarão a escolha do microgerador adequado para a localidade.

Primeiramente, realizou-se uma relação entre as velocidades do vento incidentes no local de análise e suas respectivas frequências de ocorrência ao longo do período de medições. Após isto, tornou-se possível gerar um histograma geral (10 meses), onde foi possível identificar a predominância de determinadas velocidades que incidem na região de estudo, vide Tabela 02 e Figura 12.

**Tabela 02 - Tabulação dos dados de vento na forma de frequência de distribuição, durante os 10 meses de medição, na região de Farroupilha-RS.**

**Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

10 MESES		
Vel. Do Vento (m/s)	Nº de Ocorrências	Frequência Relativa (%)
0-1	2440	15,1
1-2	2163	13,4
2-3	2351	14,5
3-4	2348	14,5
4-5	3008	18,6
5-6	1553	9,6
6-7	1117	6,9
7-8	641	4
8-9	415	2,4
9-10	92	0,6
10-11	46	0,3
11-12	15	0,1
12-13	0	0
13-14	1	0
14-15	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>16190</b>	<b>100</b>



**Figura 12 – Frequência de distribuição da velocidade do vento na localidade de estudo.**

**Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

Conforme Custódio *et al.* (2009), tem-se que a velocidade média do vento no período em estudo, pode ser facilmente obtida através da expressão:

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (6)$$

Onde:

$V_i$  = velocidade do vento registrada [m/s];  
 $n$  = número de registros [adimensional];  
 $i$  = identificação do registro.

Por meio da Eq. (6), foi possível avaliar minuciosamente o comportamento do vento na região de acordo com cada mês de estudo, analisando suas respectivas velocidades médias e relacionando-as com as estações climáticas predominantes, conforme Tab. 03. Através desta análise, percebeu-se que as maiores médias de vento ocorreram durante os períodos de outono e inverno, sendo que as mais baixas predominaram durante o verão. No entanto, a média geral do vento durante o intervalo de dez meses de estudo permaneceu em 3,57 m/s, sendo que a direção norte destacou-se com cerca de 60% de frequência.

**Tabela 03 – Relação entre a velocidade média do vento na região em função do mês analisado.**  
**Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

Mês	Vel. Média do Vento (m/s)	Estação Climática
Junho	4,90	Outono
Julho	4,00	Inverno
Agosto	4,90	Inverno
Setembro	3,79	Inverno
Outubro	3,75	Primavera
Novembro	3,60	Primavera
Dezembro	3,77	Primavera
Janeiro	3,60	Verão
Fevereiro	3,43	Verão
Março	3,47	Verão
<b>MÉDIA GERAL (10 MESES)</b>	<b>3,57</b>	

Para dar continuidade ao estudo, tornou-se necessária a escolha de um aerogerador eólico para análise da viabilidade de sua implementação na região em questão. Visto que o mercado de geradores eólicos está em constante crescimento e expansão, optou-se pela escolha do modelo de gerador eólico AGW 100, fabricado pela empresa brasileira WEG. De acordo com o fabricante, o produto escolhido possui um rotor com diâmetro de 24,4 metros, opera por meio de um controle de potência passivo (estol), possui cerca de 37 metros de altura até o centro de seu cubo e pode produzir um valor de até 95kW de potência. A escolha deste modelo ocorreu devido a diversos fatores, tais como:

- Fabricante nacional;
- Disponibilização de dados completos (curva de potência, configurações, características de desempenho);
- Modelo destinado a micro e pequena geração de energia elétrica;
- Possui uma configuração com três pás;
- Vida útil de 20 anos.

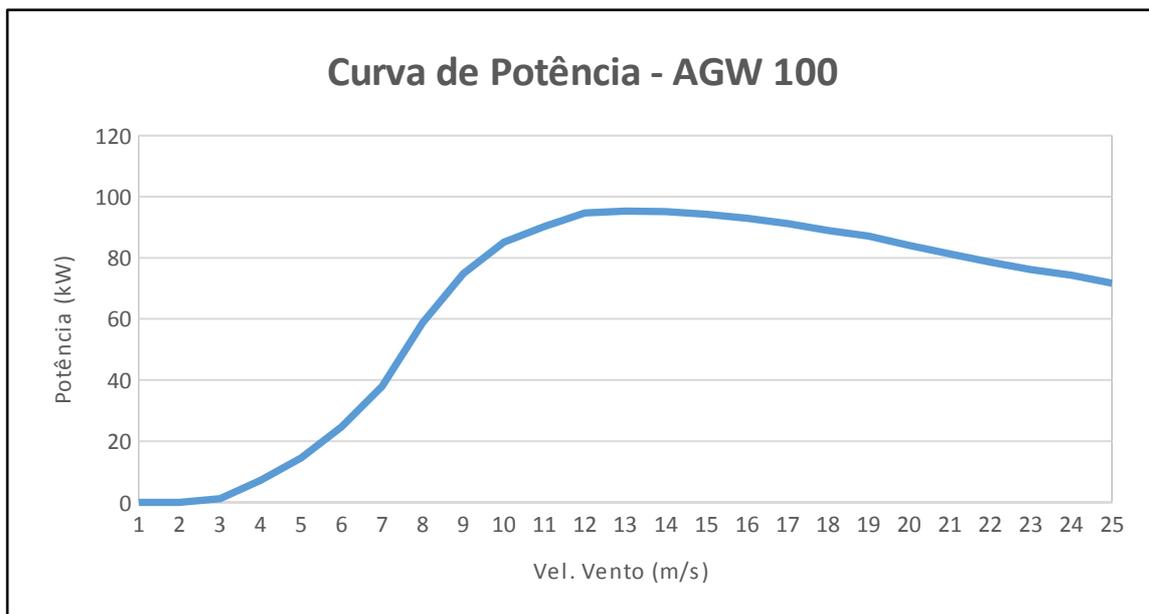
Consultando as configurações de desempenho do produto, fornecidas pelo fabricante, tornou-se possível à obtenção dos dados entre a relação da velocidade do vento incidente no rotor e a potência produzida pelo aerogerador (curva de potência). Os dados disponibilizados pelo fabricante podem ser visualizados através da Tabela 04.

**Tabela 04 - Relação entre a potência gerada pelo aerogerador AGW 100 em relação a velocidade do vento incidente na altura do cubo de seu rotor.**

Fonte: WEG.

Velocidade do Vento (m/s)	Potência (kW)
1	0
2	0
3	1,2
4	7,2
5	14,5
6	24,7
7	37,9
8	58,7
9	74,8
10	85,1
11	90,2
12	94,7
13	95,3
14	95,1
15	94,2
16	92,9
17	91,2
18	88,9
19	87,1
20	84,1
21	81,3
22	78,6
23	76,1
24	74,3
25	71,7

Deste modo, os valores fornecidos pelo fabricante puderam ser traduzidos graficamente, demonstrando o comportamento do aerogerador escolhido por meio de sua curva de potência, vide Figura 13.



**Figura 13 – Gráfico da curva de potência do aerogerador AGW 100.**

**Fonte: WEG.**

Através do gráfico da curva de potência do aerogerador em estudo, pode-se perceber que o modelo possui uma velocidade inicial de trabalho em ventos a partir de 3 m/s, tendo sua potência elevada conforme o aumento da velocidade incidente no cubo de seu rotor. Ao acompanhar a elevação da potência gerada, notou-se que em torno de 13 m/s, o modelo AGW 100 produz sua potência nominal, ou máxima potência, de 95,3 kW, sendo que acima desta velocidade, o aerogerador inicia uma redução em sua geração de potência. Tal situação, ocorre pelo fato do modelo em estudo ser controlado por um sistema de controle de potência por estol, conforme descrito anteriormente. Portanto, este aerogerador se torna vantajoso por possuir um auto-controle de potência e exigir baixas manutenções, devido a um número menor de peças móveis utilizadas quando comparado a um sistema de controle por passo.

Como já mencionado anteriormente, para a seleção adequada de um aerogerador eólico, deve-se ocorrer um cruzamento de dados entre a estatística de velocidade do vento predominante com a curva de potência do gerador selecionado. Sendo assim, a análise foi realizada para todas as velocidades do vento, a fim de encontrar os valores aproximados da produção total de energia que o aerogerador produziria durante o período de junho de 2015 a março de 2016, conforme Tabela 05. Para isto, considerando que no período de junho a março dos anos analisados houveram 305 dias, ou seja, 7320 horas, pode-se dizer que a energia gerada durante este período (EGP) é dada por:

$$EGP = \sum [f(v) \cdot P(v)] * 7320 \quad (7)$$

Onde:

v = velocidade do vento [m/s];

f (v) = frequência de ocorrência da velocidade do vento [%];

P (v) = potência produzida pelo aerogerador na velocidade do vento incidente [kW].

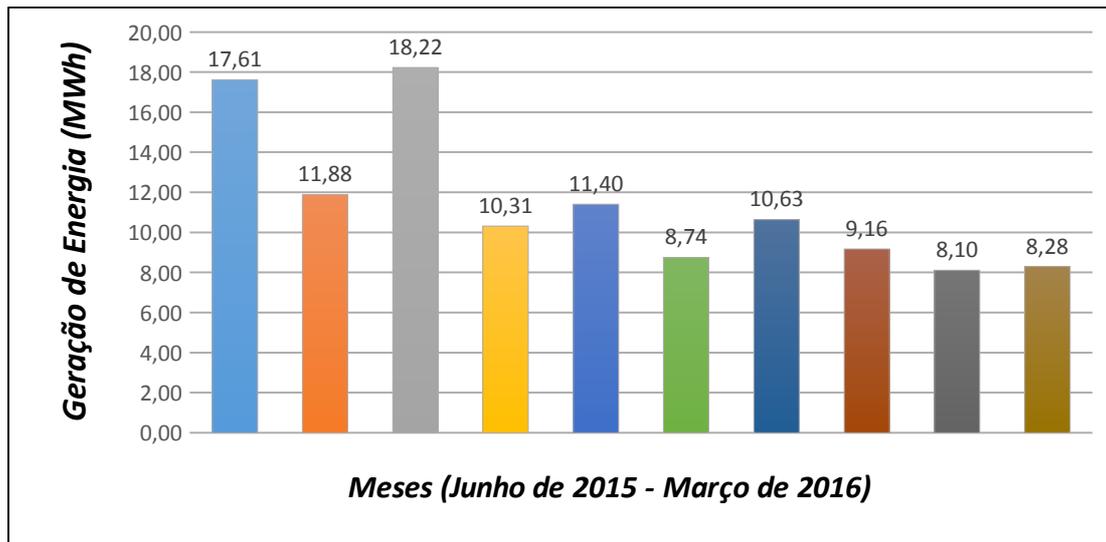
**Tabela 05 – Determinação da energia produzida pelo aerogerador AGW 100.****Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

POTÊNCIA GERADA PELO AEROGERADOR AGW 100 - WEG					
Velocidade do Vento incidente no rotor [m/s]	Número de Ocorrências	Frequência Relativa [%]	Vel. Vento [m/s]	Potência [kW]	EGP = f(v).P(v) [kW]
0-1	2440	15,07	1	0	0,00
1-2	2163	13,36	2	0	0,00
2-3	2351	14,52	3	1,2	0,17
3-4	2348	14,50	4	7,2	1,04
4-5	3008	18,58	5	14,5	2,69
5-6	1553	9,59	6	24,7	2,37
6-7	1117	6,90	7	37,9	2,61
7-8	641	3,96	8	58,7	2,32
8-9	415	2,56	9	74,8	1,92
9-10	92	0,57	10	85,1	0,48
10-11	46	0,28	11	90,2	0,26
11-12	15	0,09	12	94,7	0,09
12-13	0	0,00	13	95,3	0,00
13-14	1	0,01	14	95,1	0,01
14-15	0	0,00	15	94,2	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>16190</b>	<b>100,00</b>	<b>16</b>	<b>92,9</b>	<b>13,97</b>

Nota-se, através dos dados disponibilizados na Tabela 05, que dentre os 16.190 dados coletados, a potência máxima atingida pelo cruzamento entre as velocidades incidentes e a curva de potência do gerador fabricado pela WEG é de 13,97kW. Portanto, este valor pode ser convertido para MW (Megawatt) e, posteriormente, multiplicado pelas 7320

horas, resultando em um valor de 102,3MWh. No entanto, se o aerogerador em questão operasse o total destes dez meses em suas melhores condições de geração, produzindo cerca de 95kW durante todo o tempo, o mesmo produziria cerca de 695,4MWh. Sendo assim, pode-se afirmar que o gerador escolhido produziria apenas 15% de energia elétrica em relação a sua produção máxima neste mesmo período de tempo.

Para facilitar a compreensão sobre a distribuição de produção de energia, optou-se por analisar os dados de geração do aerogerador eólico mês a mês, a fim de verificar os pontos máximos e mínimos de produção de energia elétrica na região. A Figura 14 demonstra a relação de produção de energia elétrica entre os meses de junho de 2015 a março de 2016.



**Figura 14 – Relação entre a produção de energia elétrica do aerogerador, em MWh, e os meses estudados. Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

Após o estudo ser concluído por meio dos dados de produção de energia na região, foi possível realizar um contato com representantes do grupo WEG, onde pôde-se obter o valor estimado do equipamento em questão, sendo este cerca de R\$900.000,00, incluindo as devidas instalações e manutenções contratuais do equipamento. Sabendo que o valor nominal médio do kWh, apurado em contas de energia do mês de março da concessionária local para consumidores atendidos em baixa tensão, é de R\$0,69, foi possível estimar que o modelo AGW 100 conseguiria pagar seus custos de investimento em torno de 132 meses, ou seja, aproximadamente 11 anos. Desta forma, o aerogerador estudado se tornaria um equipamento extremamente caro para a empresa interessada e exigiria um longo período de tempo para se tornar rentável a mesma.

Através da situação encontrada, optou-se pela realização de uma nova pesquisa no mercado de aerogeradores nacionais, procurando encontrar soluções viáveis e mais baratas para a localidade. Em pesquisas efetuadas junto ao site do fabricante ENERSUD, decidiu-se realizar um estudo envolvendo equipamentos com potência nominal mais baixas em relação ao modelo AGW100. Desta maneira, procurando atender os requisitos mencionados, determinou-se a escolha do modelo de gerador eólico VERNE 555, que possui uma potência nominal de 7 kW, diâmetro do rotor de 5,55 metros e cerca 200kg. Além da potência ser um dos fatores importantes na seleção do equipamento, a escolha deste modelo ocorreu devido aos seguintes fatores:

- Menor robustez do equipamento em relação ao modelo do grupo WEG;
- Configuração de três pás;
- Auto-controle da potência (controle por estol);
- Modelo destinado a micro e pequena geração de energia elétrica;
- Vida útil de 20 anos;
- Variedade de torres com diferentes alturas (entre 12 a 50 metros).

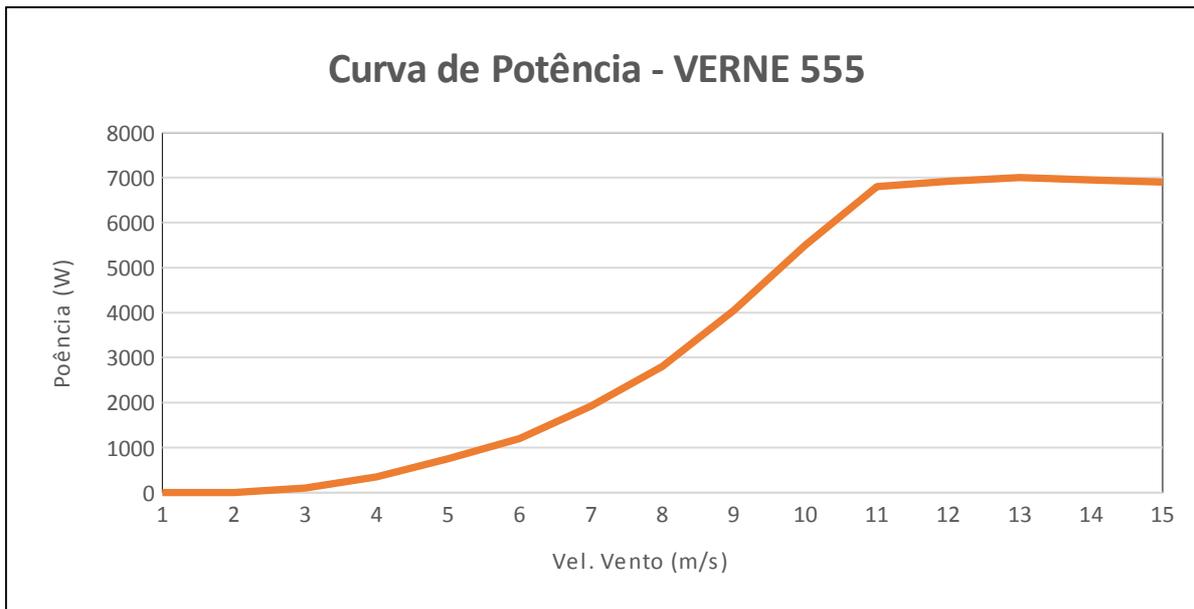
A Figura 15, demonstra o desempenho de geração elétrica deste aerogerador eólico ao longo das variações da velocidade do vento incidentes em seu rotor. De acordo com a ENERSUD, os dados disponibilizados na curva de potência do gerador VERNE 555 foram extraídos por meio de medições em túnel de vento.

Conforme descrito anteriormente, o aerogerador VERNE 555 possui um controle de potência por estol, sendo que em torno de 16-17 m/s, o equipamento inicia uma redução em sua produção de energia elétrica devido as altas velocidades de vento incidentes no rotor. Através da Figura 15, é possível observar que a velocidade de partida do

aerogerador é de 2 m/s, sendo que sua velocidade nominal (velocidade de maior produção) é em torno de 12 m/s, onde o mesmo consegue produzir cerca de 7 kW de potência.

Utilizando o cruzamento de dados entre a estatística de velocidade do vento predominante com a curva de potência do gerador selecionado e, aplicando o equacionamento descrito pela Eq. (7), foi possível obter a potência gerada pelo aerogerador da empresa ENERSUD durante o período de dez meses de análise. A Tabela 06 demonstra os resultados obtidos através do cruzamento dos dados estudados.

Por meio dos dados encontrados, foi possível verificar que o aerogerador VERNE 555 conseguiria atingir a potência máxima de 724,29 W, em uma altura de trabalho de 20 metros do solo. Realizando a conversão deste valor para MW (MegaWatt) e, posteriormente, multiplicando-o pelas 7320 horas de operação, pode-se dizer que o equipamento produziria cerca de 5,30MWh ao longo dos dez meses de estudo. Porém, se este mesmo aerogerador operasse o total deste período em suas melhores condições de geração, produzindo cerca de 7 kW, o mesmo conseguiria atingir uma potência de 51,24MWh.



**Figura 15 - Gráfico da curva de potência do aerogerador VERNE 555.**  
**Fonte: ENERSUD.**

Nestas condições, pode-se afirmar que o gerador eólico da ENERSUD conseguiria produzir apenas 10,4% de energia elétrica em relação aos valores de sua produção máxima neste mesmo período de análises.

**Tabela 06 – Determinação da energia produzida pelo aerogerador VERNE 555.**  
**Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).**

POTÊNCIA GERADA PELO AEROGERADOR VERNE 555 - ENERSUD					
Velocidade do Vento incidente no rotor [m/s]	Número de Ocorrências	Frequência Relativa [%]	Vel. Vento [m/s]	Potência [W]	EGP = f(v).P(v) [W]
0-1	2440	15,07	1	0,00	0,00
1-2	2163	13,36	2	0,00	0,00
2-3	2351	14,52	3	100,00	14,52
3-4	2348	14,50	4	350,00	50,76
4-5	3008	18,58	5	750,00	139,35
5-6	1553	9,59	6	1200,00	115,11
6-7	1117	6,90	7	1920,00	132,47
7-8	641	3,96	8	2800,00	110,86
8-9	415	2,56	9	4050,00	103,81
9-10	92	0,57	10	5500,00	31,25

10-11	46	0,28	11	6800,00	19,32
11-12	15	0,09	12	6920,00	6,41
12-13	0	0,00	13	7000,00	0,00
13-14	1	0,01	14	6950,00	0,43
14-15	0	0,00	15	6900,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>16190</b>	<b>100,00</b>			<b>724,29</b>

Embora o modelo VERNE 555 tenha apresentado um baixo índice de produção elétrica na localidade, optou-se pela realização de uma pesquisa financeira sobre este aerogerador, a fim de comparar seus custos de aquisição em relação ao modelo AGW100 e realizar uma estimativa de tempo para a compensação de seus investimentos. Sendo assim, em contato com representantes da empresa ENERSUD, foi possível determinar que o valor aproximado deste equipamento é de R\$36.000,00, não sendo incluso os valores de instalação e manutenção do mesmo.

Para efetuar a comparação entre os custos totais dos dois equipamentos selecionados, foi preciso realizar uma aferição em relação aos custos de instalação e manutenção do aerogerador VERNE 555, visto que os mesmos não foram incluídos no orçamento do fabricante. Considerando que os custos para instalar e manter uma turbina eólica estão em torno de 30% do valor do total equipamento, conforme descrito pelo Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil, disponibilizado em 2014 pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), pode-se afirmar que o modelo fabricado pela ENERSUD custaria aproximadamente R\$46.800,00. Conforme mencionado anteriormente, o valor nominal médio do kWh é de R\$0,69, sendo assim, pode-se concluir que o aerogerador VERNE 555 teria uma estimativa de 10 anos e meio para quitar os custos de seu investimento total e iniciar seu funcionamento para atender parte dos gastos relacionados à energia consumida pela empresa.

A Tabela 07 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos através dos aerogeradores eólicos selecionados ao longo do estudo.

**Tabela 07 - Comparação dos resultados obtidos em relação aos aerogeradores selecionados.**

**Fonte: Elaborada pelo autor (2018).**

<b>COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS</b>		
<b>Modelo</b>	<b>WEG AGW 100</b>	<b>ENERSUD VERNE 555</b>
<b>Potência nominal (kW)</b>	95	7
<b>Energia produzida (kW)</b>	13,97	0,724
<b>Energia produzida em 10 meses (MWh)</b>	102,3	5,3
<b>Energia máx. produzida em 10 meses (MWh)</b>	695,4	51,24
<b>Eficiência (%)</b>	14,71	10,34
<b>Custo (R\$)</b>	900.000,00	46.800,00
<b>Tempo de quitação (R\$0,69/kWh)</b>	11 anos	10,5 anos

#### 4. CONCLUSÕES

Através do trabalho realizado e dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o aerogerador AGW 100, fabricado pela empresa brasileira WEG, tornaria-se um equipamento inviável para a região onde a empresa Silvestrin está situada, visto que a velocidade média do vento encontrada na altura de extração dos dados é muito baixa para atingir índices satisfatórios de produção de energia com este modelo. Em relação ao segundo aerogerador analisado, o modelo VERNE 555 produzido pela empresa ENERSUD, nota-se que o problema mencionado anteriormente também ocorre com este modelo de estudo, fazendo com que as produções de energia elétrica deste equipamento sejam abaixo do ideal, tornando-o ineficiente para a localidade. Ao analisar os custos envolvidos entre os aerogeradores em questão, nota-se que o modelo VERNE 555, apesar de possuir menor potência nominal, se tornaria um equipamento muito mais barato que o modelo AGW100. No entanto, percebe-se que por meio da relação entre a produção de energia elétrica e o tempo de compensação de custos investidos pelo equipamento, os dois aerogeradores eólicos apresentariam praticamente o mesmo período de tempo para quitar seus investimentos iniciais de instalação e manutenção. Desta maneira, pode-se afirmar que ambos os equipamentos se tornariam opções caras e inviáveis para instalação.

Apesar dos aerogeradores selecionados não apresentarem resultados convincentes durante o período de análises, a possível implementação dos mesmos na região não pode ser descartada. Tendo em vista que os modelos estudados possuem altura do rotor superior a 20 metros do solo (altura de extração dos dados do vento na região), seria

muito interessante a realização de novos estudos do vento na localidade, impreterivelmente na faixa de altura dos equipamentos escolhidos. Sendo assim, a média do vento incidente tenderia a ser maior que a média encontrada e, provavelmente, os dois aerogeradores se tornariam opções mais eficientes, baratas e interessantes para a empresa.

Portanto, pode-se concluir que a micro e pequena geração de energia elétrica a partir do vento é uma tecnologia promissora para o Rio Grande do Sul e, principalmente, para o Brasil. Entretanto, para desenvolvimento e crescimento desta tecnologia no país, é de suma importância que haja cada vez mais a colaboração e incentivo do governo, visto que os custos de aquisição, implementação e manutenção ainda são muito elevados para pequenas empresas, fazendas ou residências.

Por fim, vale ressaltar que para a inserção de um gerador eólico, seja ela em qualquer região, é indispensável a realização de um estudo minucioso na localidade desejada, procurando analisar os modelos ideais para tal situação, sua viabilidade de implementação na região e a finalidade para qual seu uso será destinado.

## 5. REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/paginas/default.aspx>> Acessado em: 17 de Maio de 2018.

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica. Dados mensais/Fevereiro de 2018, publicado em 08/02/2018. Disponível em: <<http://www.abeolica.org.br/dados-abeolica/>> Acessado em: 05 de Março de 2018.

Acioli, José de Lima. Fontes de Energia. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994.

Ambiente Energia, 2014. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/>> Acessado em: 01 de Março de 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília - DF, Março de 2012.

CE – Centro de Energia Eólica (PUC-RS). Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ce-eolica/index.htm>> Acessado em: 15 de Março de 2018.

Cobel, Renato & Montebelo, Renan. Canal Piloto – Teorias Rotativas 02. Publicado em 25 de Abril de 2013. Disponível em: <<http://canalpiloto.com.br/teorias-rotativas-02/>> Acessado em: 29 de Março de 2018.

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2014. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br>> Acessado em: 22 de Março de 2018.

Dos Santos Custódio, Ronaldo D.S... Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobás. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

Energia Eólica no Brasil e no Mundo, Ano de referência - 2015, Ministério de Minas e Energia. Publicado em 02/08/2016. Disponível em: < <https://goo.gl/TSnmsH> > Acessado em: 09 de Março de 2018.

ENERSUD. VERNE 555. Disponível em: <<http://www.enersud.com.br/>> Acessado em: 30 de Abril de 2018.

Evolução da Tecnologia AALP, 2012. Disponível em: < <https://evolucaoalp.wordpress.com/about/>> Acessado em: 01 de Março de 2018.

Global Carbon Atlas. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>> Acessado em: 01 de Março de 2018.

GWEC – Global Wind Energy Council. Disponível em: <<http://gwec.net/global-figures/graphs/>> Acessado em: 05 de Março de 2018.

IDEAL - Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (2015). Disponível em: < <http://institutoideal.org/guiaeolica/>> Acessado em: 27 de Março de 2018.

IEA - International Energy Agency. Disponível em: <<http://www.iea.org/>> Acessado em: 02 de Março de 2018.

Indústria Hoje – Gerador Eólico, 2014. Disponível em: <<https://www.industriahoje.com.br/o-que-e-um-gerador-eolico>> Acessado em: 15 de Março de 2018.

Learn Engineering. Wind Turbine Design. Vídeo publicado em 02 de Abril de 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/whHNT5>> Acessado em: 17 de Abril de 2018.

Marques, Jeferson. Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação. Dissertação de Mestrado, UFSM – Santa Maria – RS, 2004.

Micro Eólica – Universidade do Minho, Departamento Engenharia Mecânica. MIEMEC Integradora VIII. Disponível em: <<https://microeolica.weebly.com/>> Acessado em: 27 de Março de 2018.

NREL – National Renewable Energy Laboratory. 2017 Standard Scenarios Report: A U.S. Electricity Sector Outlook. Publicado em Outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68548.pdf>> Acessado em: 19 de Maio de 2018.

Pessanha, J.F., Silva, I.V.G. & Souza, R.C. Previsão de Velocidade de Vento com Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativo. SPOLM, 2010.

Pires, Julio Cesar P. & Oliveira, Branca F. Gerador Eólico De Baixo Custo Para Uso Residencial. III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, Santa Catarina. Abril, 2009.

Ramos, Felipe G. & Seidler, Nelson. Estudo da Energia Eólica para Aproveitamento em Pequenos Empreendimentos. Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI, Vol.7 - N°13, Outubro de 2011.

Tavares, Daniel C. Micro e Minigeração Eólica e Solar no Brasil: Propostas para Desenvolvimento do Setor. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2015.

WEG. Aerogeradores – AGW 100. Disponível em: <<https://goo.gl/6jHgqj>> Acessado em: 29 de Março de 2018.

WIND POWER PROGRAM. Smaller wind turbines. The Britwind (Evince) R9000, Bergey Excel-10, Skystream and Honeywell RT6500. Wind Power Program, 2013. Disponível em: <[http://www.wind-power-program.com/small\\_turbines.htm](http://www.wind-power-program.com/small_turbines.htm)> Acessado em: 26 de Março de 2018.

## **VIABILITY STUDY FOR WIND MICROGENERATORS IMPLEMENTATION ON THE REGION OF SERRA GAÚCHA**

**Carlos Henrique Biondo Seben, [caike\\_seben@hotmail.com](mailto:caike_seben@hotmail.com)  
Alexandre José Bühler (co-orientador), [alexandre.buhler@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:alexandre.buhler@farroupilha.ifrs.edu.br)  
Ivan Jorge Gabe (orientador), [ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br)**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Câmpus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785 – Cinquentenário, Farroupilha-RS.

**Abstract:** *One of the major challenges for the present day is the reduction in the emission of greenhouse gases, since they are harmful to the environment. Through the various engineering solutions that were considered for this purpose, we can see a great growth in the production and use of renewable energies. Among them, one can select the wind energy, or the energy produced from the winds, that presents great competitiveness with the usual systems and does not degrade the environment. This final papers, aims to analyze the feasibility in the implantation of wind generators in the serra gaúcha. This is a great opportunity to reduce costs, making use of the legislation that allows the generation of energy in their energy bills, besides bringing the difference of promoting environmentally correct solutions. The study occurred by means of data collection of wind speed and direction, it's distribution statistics and load curves of two wind turbines available in the national market. The results show the importance of the need for measurements for long periods of time to increase the reliability of wind turbine project results.*

**Keywords:** *Environment, Renewable Energies, Wind Energy.*