



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO IVAN MOREIRA BEZERRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRO
AEROGERAADORES NA CIDADE DE PAU DOS FERROS - RN**

PAU DOS FERROS – RN
2020

PEDRO IVAN MOREIRA BEZERRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRO
AEROGERADORES NA CIDADE DE PAU DOS FEROS - RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Banca Examinadora do Curso Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Otávio Paulino Lavor
(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRO
AEROGERADORES NA CIDADE DE PAU DOS FERROS - RN**

PEDRO IVAN MOREIRA BEZERRA

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Banca Examinadora do Curso Ciência e
Tecnologia, da Universidade Federal Rural do
Semiárido em cumprimento às exigências
legais como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 24 / 02 / 2020

Banca Examinadora:



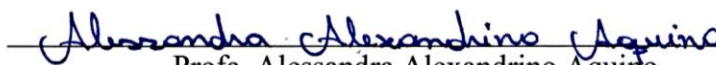
Prof. Otávio Paulino Lavor

Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFRSA
Orientador



Prof. Tarcísio da Silva Barreto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN



Profa. Alessandra Alexandrino Aquino

Universidade Estadual do Ceará - UECE

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros (BCPDF)
Setor de Informação e Referência (SIR)

B574e Bezerra, Pedro Ivan Moreira.

Análise da viabilidade da implementação de micro aerogeradores na cidade de Pau dos Ferros – RN /
Pedro Ivan Moreira Bezerra. - 2020.
56 f.: il.

Orientador: Otávio Paulino Lavor.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural
do Semi-Árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2020.

1. Potencial eólico. 2. Viabilidade. 3. Micro aerogerador.
I. Lavor, Otávio Paulino, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBIUFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais e irmão
**Maria Moreira Freire Bezerra, Edilson
Cesário Bezerra e Vicente Edilson Eutran
Moreira Bezerra** por todo esforço, apoio amor,
atenção e incentivo, acreditando em minha
capacidade e buscando sempre o melhor para
mim.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a toda minha família, pelo apoio que sempre me foi dado. Em especial aos meus pais Maria Moreira Freire Bezerra, Edilson Cesário Bezerra e, ao meu irmão Vicente Edilson Eutran, por todo amor, incentivo, dedicação, apoio e a confiança que sempre depositaram em mim. Vocês são meus guias, obrigado por toda ajuda e apoio direta e indireta durante essa jornada.

Quero agradecer também ao meu orientador, Dr. Otávio Paulino Lavor, pela sua orientação, dedicação, empenho e paciência que foi de suma importância para execução deste trabalho.

Agradeço a todos meus amigos pelo apoio em todos os momentos, pelos inúmeros conselhos e incentivos. Em especial a Murilo Feitosa, Luan Barreto, David Dutra, João Hugo, John David, Davi Ferreira. Obrigado por estarem sempre do meu lado durante essa jornada.

Por fim, agradeço ao curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, da universidade Federal Rural do Semi -Árido, juntamente com todos os docentes e funcionários técnicos-administrativos que de alguma forma proporcionaram seu devido apoio para alcançar meus objetivos.

*“Que a força de seu empenho e dedicação
seja derivada de uma energia renovável!”*

Otávio Paulino

RESUMO

Na atualidade é possível ver a crescente preocupação ambiental, principalmente com as fontes de energia utilizadas no mundo, que podem ou não serem renováveis. Por causa disso, há uma enorme tendência mundial na busca por fontes de energia limpa e renovável, como por exemplo, a eólica, que é uma fonte inesgotável e excelente para substituir, em parte, a matriz energética mundial. Visando o estudo mais aprofundado nessa fonte de energia renovável, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a implementação de micro aerogerador na cidade de Pau dos Ferros-RN. Para tanto, foram coletados dados referentes ao equipamento a ser utilizado e ao local de possível instalação, determinando a melhor turbina e estimando o potencial eólico a partir dos dados coletados e fornecidos por fabricantes de forma a analisar o valor de investimento juntamente com o retorno, para determinar a viabilidade da implementação do projeto. Os cálculos para a análise da viabilidade econômica são demonstrados e constatou-se que a possível instalação do micro aerogerador é viável, sendo uma boa opção na geração de energia elétrica.

Palavras chaves: Potencial eólico, viabilidade, micro aerogerador.

ABSTRACT

Currently it is possible to see the growing environmental concern, especially with the energy sources used in the world, which may or may not be renewable. Because of this, there is a huge worldwide trend in the search for clean and renewable energy sources, such as wind, which is inexhaustible and excellent source to partially replace the global energy matrix. Aiming to further study this renewable energy source, this paper aims to evaluate the implementation of micro wind turbine in the city of Pau dos Ferros-RN. To this end, data were collected regarding the equipment to be used and the place of possible installation, determining the best turbine and estimating the wind potential from the data collected and supplied by manufacturers in order to analyze the investment value together with the return, to determine the feasibility of project implementation. The calculations for the economic viability analysis are demonstrated and it was found that the possible installation of the micro wind generator is viable, being a good option in the generation of electricity.

Keywords: Wind potential, viability, micro wind turbine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação dos ventos	19
Figura 2: Geração e Potência Instalada por Estado Brasileiro em 2014	21
Figura 3: Mapa do Potencial eólico Brasileiro anual.	22
Figura 4: Exemplos de aerogeradores (da direita para esquerda: pequeno, médio e grande).....	24
Figura 5: Princípio de funcionamento de um aerogerador.....	25
Figura 6: Esquema de um aerogerador de eixo horizontal “upwind”	26
Figura 7: Esquema de um aerogerador de eixo horizontal “downwind”	27
Figura 8: Turbina de eixo vertical do tipo Darrieus.....	27
Figura 9: Turbina Eólica de Eixo Vertical do tipo Savonius	28
Figura 10: Turbina Eólica de Eixo Vertical do tipo Savonius	28
Figura 11: Configuração de um sistema eólico isolado	30
Figura 12: Configuração de um sistema eólico híbrido.	30
Figura 13: Configuração de um sistema interligado a rede.....	31
Figura 14: Mapa do estado do Rio Grande do Norte.	32
Figura 15: Visão panorâmica de Pau dos Ferros-RN.....	32
Figura 16: Mapa topográfico Pau dos Ferros.	33

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1: Crescimento de energia eólica no mundo	20
Gráfico 2: Comparativo das velocidades medias mensais a altura de 2 m e 10 m	36
Gráfico 3: Potencia fornecida pelos minis aerogeradores	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidade media mensal dos ventos a 2 metros de altura	34
Tabela 2: Comprimento de rugosidade	35
Tabela 3: Velocidade media mensal dos ventos calculado a 10 metros de altura	36
Tabela 4: Custos dos equipamentos	44
Tabela 5: custo total dos equipamentos	44
Tabela 6: Dados do consumo energético da residência escolhida	45
Tabela 7: Comparativo da viabilidade econômica da implementação do micro aerogerador	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	-	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBEE	-	Centro Brasileiro de Energia Eólica
CEPEL	-	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MME	-	Ministério Minas e Energia
PROINFA	-	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas

LISTA DE SIMBOLOS

GW	- Giga Watts
MW	- Mega Watts
%	- Porcento
MW	- Mega Watts
m/s	- Metros por segundo
Km	- Quilômetros
m	- Metro
°	- Grau
KWh	- Quilo Watts hora
Nº	- Número
RPM	- Rotações por minutos
R\$	- Reais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 UM BREVE PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA	18
2.2 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO ATUAL	19
2.3 AEROGERADORES	22
2.3.1 Princípio de funcionamento	23
2.4 MINI AEROGERADOR OU AEROGERADOR RESIDENCIAL	24
2.4.1 Turbina eólica com rotores de eixo horizontal	24
2.4.2 Turbinas eólica com rotores de eixo vertical	26
2.5 CONEXÃO DO MINI AEROGERADOR À REDE ELÉTRICA	28
2.5.1 Sistemas isolados	28
2.5.2 Sistemas híbridos	29
2.5.3 Sistema interligados a rede	30
3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ESCOLHIDO	31
3.1 MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS-RN	31
3.2 RELEVO DE PAU DOS FERROS- RN	32
3.3 VELOCIDADE DOS VENTOS EM PAU DOS FERROS.....	32
4 POTÊNCIA EXTRAÍDA POR UMA TURBINA EÓLICA E MICRO AEROGERADORES	36
4.1 MODELOS DE MICRO AEROGERADORES.....	37
4.1.1 Notus 138.....	37
4.1.2 Gerar 246	37
4.1.3 Verne 555.....	38
4.2 CALCULO DA POTÊNCIA FORNECIDA MENSALMENTE POR CADA MICRO AEROGERADOR	39
5 ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRO AEROGERADORES EM PAU DOS FERROS-RN.....	41
5.1 VIABILIDADE TÉCNICA	41
5.2 VIABILIDADE COMERCIAL	41
5.3 VIABILIDADE AMBIENTAL	42
5.4 VIABILIDADE SOCIAL	42

5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA	43
6 CONCLUSÕES	48
7 REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um dos elementos de maior preocupação na sociedade atual e tem mobilizado vários países na busca de soluções efetivas para a redução das emissões CO₂. Neste cenário, visto que a imensa maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável, seja de fonte mineral, atômica ou térmica. A energia pode ser utilizada de forma mais civilizada e menos dispendiosa, por meio de fontes renováveis como a energia hidroelétrica, eólica, solar, das mares, geotérmica e outras mais (RODRIGUES, 2011).

E quando falamos em geração de energia, em qualquer parte do mundo a primeira visão que se tem é a de maior distribuição possível juntamente com a maior economia envolvida. Esses foram os principais fatores que me levou a desenvolver um trabalho relacionado à energia renovável. E, através desse conhecimento aponta-se a energia eólica como um tipo de energia bem diferenciado dos demais e que vem indicando resultados significativos de crescimento tanto em países desenvolvidos como em países emergentes (SILVA, 2014).

A redução dos custos da geração eólica nos últimos anos tornou essa fonte economicamente acessível, graças aos avanços tecnológicos provenientes do desenvolvimento, da demonstração e da disseminação de unidades instaladas. A importância presente e futura dessa fonte no fornecimento de energia limpa se tornou incontestável e a capacidade instalada de sistemas de geração de energia eólica no mundo cresce em ritmo acelerado (BARROS, 2011).

A partir desse contexto podemos analisar a região Nordeste brasileira que, devido à alta incidência de ventos fortes e constantes, além do crescente esforço dos governos para atração de investimentos no setor, tornou-se uma das principais regiões concentradoras de projetos de energia eólica no mundo (BEZERRA ET AL, 2013), então isso pode se explicar o grande número de usinas eólicas na região Nordeste. Nesse contexto, conhecido por sua forte irradiação solar e pelas altas temperaturas, o Semiárido Nordestino foi descoberto recentemente também como uma ótima fonte de energia eólica.

Os recursos eólicos para o suprimento de energia, além de complementar a energia hidrelétrica por exemplo, propicia outras vantagens, como a possibilidade de descentralização da geração de energia elétrica, abastecimento em locais isolados e complemento nas pontas de rede (VEIGA, 2012).

Como a geração eólica em larga escala já evidenciou seus benefícios com grandes projetos eólicos realizados ou em andamento, de outro lado, percebe-se que a geração de energia em pequena escala, ou geração de energia doméstica, tem um enorme desafio pela frente, principalmente na disseminação do interesse da engenharia por projetos eólicos de menor capacidade de geração, a fim de possibilitar sua viabilidade para uma demanda energética específica, como por exemplo um único consumidor (SILVA, 2014).

Então, o uso da geração de energia na própria casa é uma alternativa para o cidadão que quer contribuir para diminuir a pressão sobre a rede e se assegurar de estar utilizando uma forma de energia limpa. Uma grande vantagem da geração eólica em pequena escala é sua acessibilidade aos indivíduos, que lhes confere o potencial de decidir como será produzida uma parte ou a totalidade da energia que consomem. A atuação nesse sentido se enquadra na tendência da geração de energia no mundo no século XXI, cada vez mais descentralizada, em pequena escala e próxima dos consumidores (BARROS, 2011).

Desta forma, a partir do que vem sendo mencionado, este trabalho visa apresentar um estudo na região para verificar a viabilidade de implementação do aerogerador com características residenciais, com intuito de ser capaz de suprir satisfatoriamente a necessidade de energia elétrica média de uma determinada propriedade, deixando a demanda maior de energia recair sobre as fontes convencionais de energia.

Como requisito para subsidiar a implementação do aerogerador com características residencial, foi feito um grande embasamento teórico sobre turbinas eólicas com ênfase nos micros aerogeradores, coletando dados juntamente com alguns tipos de fabricantes, e por fim, uma coleta de dados energético e da demanda, de uma determinada residência em Pau dos Ferros-RN, afim de verificar a viabilidade da implementação do mesmo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 UM BREVE PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA

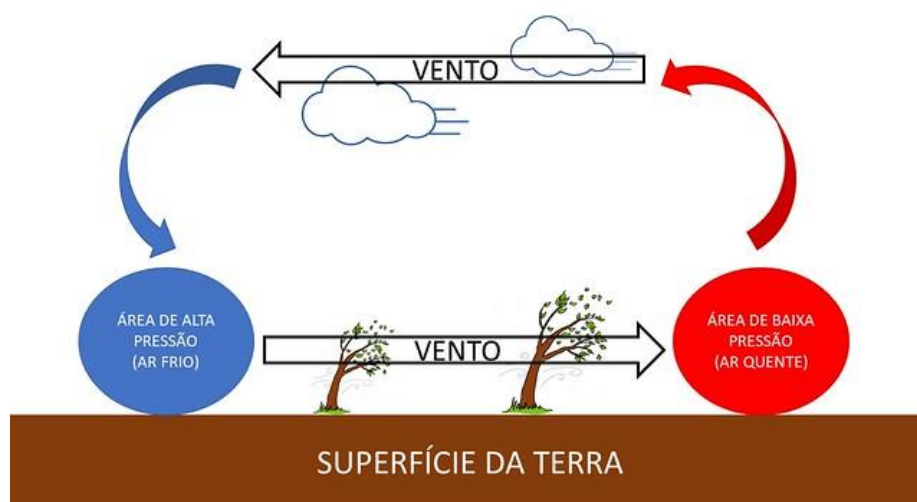
Assim como outras fontes de energia, a energia eólica é utilizada a milhares de anos, mas com aplicações que envolvem energia mecânica, como bombear água, moagem de grãos e outras aplicações. Mas energia eólica para a produção de energia elétrica só surgiram no final do século XIX, mas somente no século XX foi que houve interesse e investimento para viabilizar o desenvolvimento e aplicação da energia eólica (ANEEL, 2008).

Pode-se dizer que a energia eólica é a energia cinética devido as massas de ar em movimento provocado pela diferença de temperatura na superfície do planeta (vento), onde o ar mais quentes sobem na atmosfera gerando zonas de baixa pressão na superfície da terra e, como consequências as massas de ar mais frias deslocam-se para essas zonas de baixa pressão gerando o vento (ANEEL, 2008).

Amarante (2001) destaca que,

O vento – atmosfera em movimento – tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária. Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de um mecanismo solar-planetário permanente; sua duração é mensurável na escala de bilhões de anos.

Figura 1: Formação dos ventos



Fonte: SANTOS, (2019)

Diante desse contexto podemos dizer que o aproveitamento dessa energia é através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego das

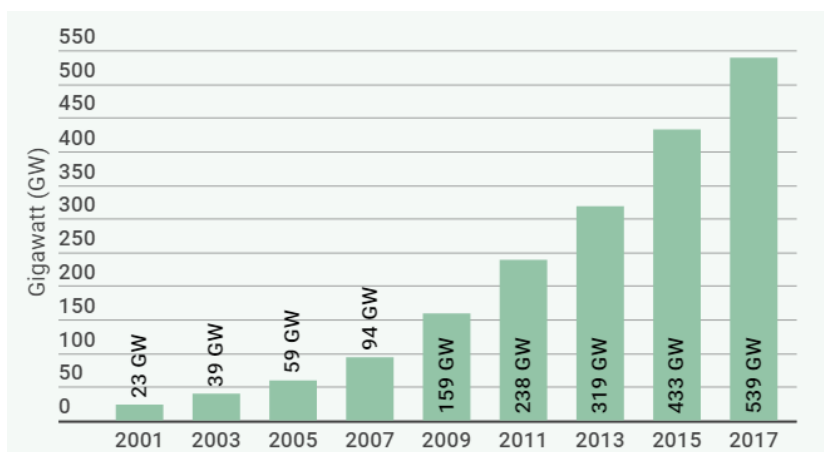
turbinas eólicas para geração de eletricidade ou trabalho mecânico. Logo, isso ocorre devido ao contato do vento com as pás conectadas ao rotor que ao girar dão origem a energia mecânica acionando o rotor gerando eletricidade, que está totalmente relacionada a densidade do ar, a área coberta pela rotação das pás e à velocidade do vento (ANEEL, 2008).

De acordo com Amarante (2001),

O aproveitamento energético eólico no mundo cada vez mais consolida-se como uma alternativa viável e limpa. Esse tipo de energia compõe complementarmente matrizes energéticas de muitos países e, uma vez que os ventos oferecem uma opção de suprimento no século XXI, em conjunto com outras fontes renováveis, poderá conciliar as necessidades de uma sociedade industrial moderna com os requisitos de preservação ambiental.

Logo, podemos ver os números que indicam a crescente utilização de energia eólica, em várias partes do mundo e, que comprovam a maturidade da tecnologia que envolve e dos aspectos socioeconômicos. Considerando as configurações geográficas, as condições climáticas e a necessidade, o Brasil mostra-se absolutamente adequado e estratégico conduzir esforços para ampliar essa tendência da geração de energia eólica (AMARANTE, 2001).

Gráfico 1: Crescimento de energia eólica no mundo



Fonte: Barbosa, (2018)

2.2 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO ATUAL

Atualmente o Brasil é um dos países em destaque que vem mostrando mais interesse e investimento na energia eólica devido ao fato de apresentar território apropriado para este tipo

de aplicação e também pela necessidade de diversificar sua matriz energética (FONSECA; RAMALHO, 2018).

Logo, o potencial eólico brasileiro tem sido objeto de estudo desde os anos de 1970 e seu historio mostra-se lento, mas progressivo descobrindo um potencial energético natural de grande relevância e magnitude existente no país. O Ministério de Minas e Energia (MME) por exemplo, coordena o Programa de Incentivo as fontes Alternativas de Energia (Proinfa), que é de suma importância para a diversificação energética brasileira (RODRIGUES, 2011). E com o avanço computacional e criação de novas ferramentas de simulações das leis da física com interação entre as diversas variáveis meteorológicas torna-se possível superar obstáculos históricos ao conhecimento do potencial eólico brasileiro (AMARANTE, 2001).

A partir disso os primeiros sensores para captar os dados de vento com qualidade foram instalados no Ceara e em Fernando de Noronha, no estado de Pernambuco, no inicio dos anos 90. E com os bons resultados obtidos devido a essas medições favoreceram para a determinação do potencial eólico daqueles locais e a instalação de aerogeradores. Logo vários estados brasileiros seguiram os passos do Ceara e Pernambuco e começaram programas de levantamentos de dados de ventos (SILVA, 2014).

Devido ao incentivo dos programas de levantamentos de dados de ventos nos estados brasileiros, a análise desses dados em vários locais no Nordeste confirmou as características dos ventos existentes na região, velocidades médias de vento altas, pouca variação nas direções do vento e pouca turbulência durante todo o ano (SILVA, 2014). Pode-se dizer que os melhores dados estão localizados nos estados do Ceara e Rio Grande do Norte, com até duas vezes mais capacidade de geração que a Alemanha. (RODRIGUES, 2011).

Informações detalhadas a respeito do último levantamento realizado em 2014 por estado brasileiro podem ser conferidas na figura 1:

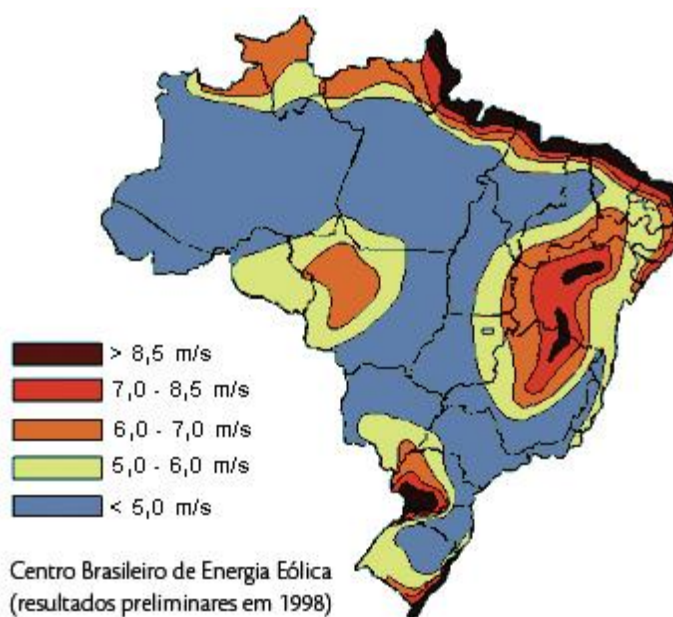
Figura 2 - Geração e Potência Instalada por Estado Brasileiro em 2014.

Brasil – Geração e Potência Instalada por Estado (2014)

Estado	Geração (GWh)	Estrutura da Geração (%)	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade (%)	Expansão no Ano (MW)
CE	3.770	30,9	1.219	43,5	575
RN	3.766	30,8	1.625	37,6	1.200
BA	1.881	15,4	842	40,5	624
RS	1.707	14,0	715	31,0	215
SC	444	3,6	238	21,4	2
PI	279	2,3	69	46,5	51
PB	148	1,2	69	24,5	-
RJ	78	0,6	27	31,9	-
PE	66	0,5	28	28,2	-
SE	65	0,5	54	20,4	20
PR	4	0,0	3	19,2	-
Brasil	12.208	100	4.888	37,0	2.686

Fonte: JUNIOR, (2016)

Figura 3 – Mapa do Potencial eólico Brasileiro anual



Fonte: RODRIGUES, (2011)

Devido as razões mostradas e pelo fato de ter sido um dos primeiros locais a se realizar um estudo e levantamento do potencial eólico, a atenção tem se voltado para o estado do Ceará, mas não foi apenas no Nordeste que o grande potencial eólico foi identificado. Em Minas Gerais, por exemplo, funciona uma central eólica desde 1994 com excelentes condições de vento como mostrado na figura 2, onde a cor mais avermelhada indica um maior potencial eólico. E baseado no Atlas Eólico do Nordeste, o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) estima que o potencial eólico no Nordeste é de 6.000MW (RODRIGUES, 2011).

Então, pode-se notar que a região nordeste com foco mais no estado do Ceará e Rio Grande do Norte apresenta a maior produção da energia eólica brasileira e, também podemos ver que ambos estados tem o maior fator de capacidade. A partir disso podemos ver que se faz necessário um maior estudo e investimento na produção de energia eólica.

2.3 AEROGERADORES

Como já foi mencionado antes de uma maneira mais geral, os aerogeradores são equipamentos que realizam a conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica, assim distribuindo-a para a rede elétrica.

Segundo Rodrigues (2011) um aerogerador é constituído por vários equipamentos que devem trabalhar em sincronia de forma a proporcionar um maior rendimento final. Para efeito de estudo global da conversão eólica devem ser considerados os seguintes componentes:

- Vento: Disponibilidade energética do local destinado à instalação do sistema eólico.
- Rotor: Responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica de rotação.
- Transmissão e Caixa Multiplicadora: Responsável por transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga. Alguns geradores não utilizam este componente; neste caso, o eixo do rotor é acoplado diretamente à carga.
- Gerador Elétrico: Responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica.
- Mecanismo de Controle: Responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle da carga, etc.
- Torre: Responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura conveniente.
- Sistema de Armazenamento: Responsável por armazenar a energia para produção de energia firme a partir de uma fonte intermitente.
- Transformador: Responsável pelo acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica.

Quanto a aplicação, os aerogeradores podem ser conectados diretamente à rede elétrica, destinados ao suprimento elétrico em comunidades ou sistemas isolados. E a instalação pode ser feita em terra firme ou no mar, como mostra a figura 4. E os aerogeradores podem ser classificados como: pequeno - potência menor que 500 kW; médio – potência entre 500 KW e 1000KW; e grande – potência maior que 1 MW (ANEEL, 2005).

Figura 4: Exemplos de aerogeradores (da direita para esquerda: pequeno, médio e grande)



Fonte: ANEEL, (2005)

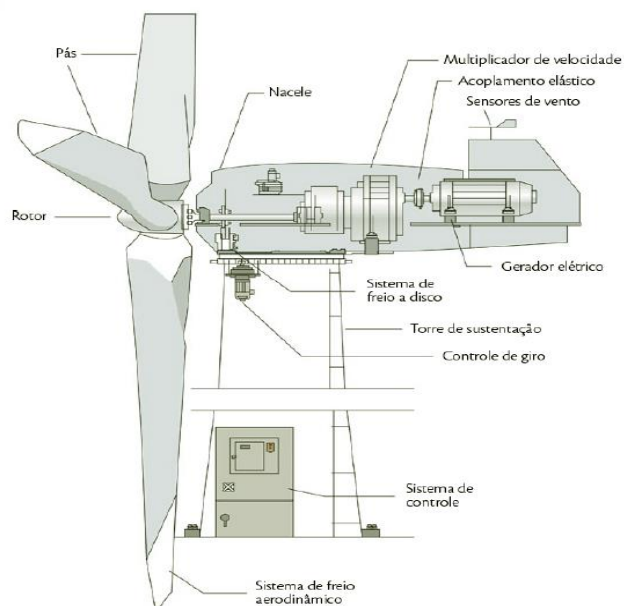
2.3.1 Princípio de funcionamento

De forma mais geral, um aerogerador é formado principalmente pela turbina eólica, multiplicador, gerador elétrico e pelos sistemas de conexões e controle (PAVINATTO, 2005).

Logo, a turbina eólica é o componente responsável pela conversão da energia cinética em energia mecânica de rotação, que é composta pelo rotor e pás. Geralmente a turbina eólica trabalha em baixas rotações (na média de 36 RPM), mas já o gerador elétrico trabalha em altas rotações (na média de 1800 RPM). De forma a compensar esta diferença de rotação, utiliza-se um multiplicador de velocidade ou caixa multiplicadora. Este equipamento é o responsável pela conversão de torque e velocidade (aumentando), fazendo com que a energia mecânica seja entregue ao gerador na rotação adequada. Em alguns aerogeradores não necessitam desse equipamento, sendo acoplado a turbina eólica diretamente ao gerador, ou seja, o gerador gira na mesma velocidade da turbina. Isso é mais comum nos minis aerogeradores ou aerogeradores residenciais (PAVINATTO, 2005).

De maneira mais geral, o funcionamento de um aerogerador pode ser melhor compreendido como mostra a figura 4.

Figura 5 – Princípio de funcionamento de um aerogerador



Fonte: RODRIGUES, (2011)

2.4 MINI AEROGERADOR OU AEROGERADOR RESIDENCIAL

De acordo com o que vem sendo tratado sobre aerogeradores, os mini aerogeradores ou aerogeradores residenciais constituem das mesmas características dos aerogeradores de médio e grande porte, no entanto, a composição dos aerogeradores residenciais não é universalmente definida, mas há uma certa relação quanto as partes constituintes, principalmente: a torre, a cabine (onde fica o gerador e outros componentes), o rotor e outros equipamentos que auxilia na geração de energia.

Portanto nesse tópico serão abordados os tipos de turbina quanto a disposição e configuração dos rotores.

2.4.1 Turbina eólica com rotores de eixo horizontal

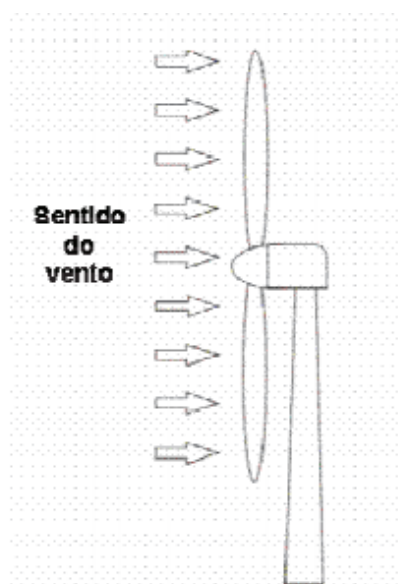
Esse modelo de turbina é o mais comum mundialmente, e este necessita de um mecanismo que permita o posicionamento do eixo do motor em relação ao vento, para um melhor aproveitamento principalmente em locais onde há muitas mudanças de direção de vento (RODRIGUES, 2011).

Elas normalmente são constituídas contendo três pás, porém também existe algumas com mais de três pás (multipás). Mas as que se tem com maior frequência são as turbinas de três pás, isso se deve pelo fato de que apresenta uma melhor relação entre coeficiente de potencia, custo de instalação e velocidade de rotação. Já os rotores com mais de três pás são melhores utilizados para bombeamento de água em poços artesanais, porém nada impede seu uso na produção de energia (MÜLLER, 2015).

Segundo MÜLLER (2015) as turbinas de eixo horizontal podem ser divididas em duas categorias:

- Frontais (“*upwind*”): o vento sopra pela parte frontal. As pás são rígidas e o rotor é orientado segundo a direção do vento através de um dispositivo motor.

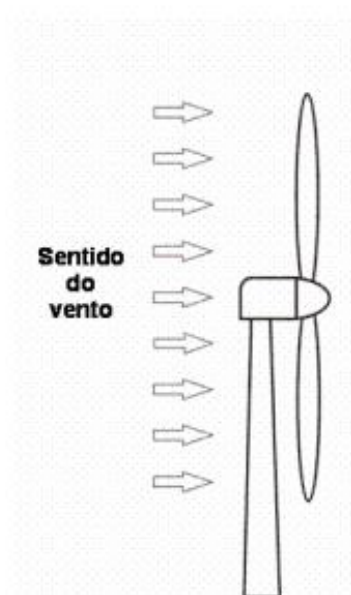
Figura 6: Esquema de um aerogerador de eixo horizontal “*upwind*”



Fonte: MÜLLER, (2015).

- Retaguada (“*downwind*”): o vento sopra pela retaguarda das pás. O rotor é flexível e auto-orientável.

Figura 7: Esquema de um aerogerador de eixo horizontal “downwind”



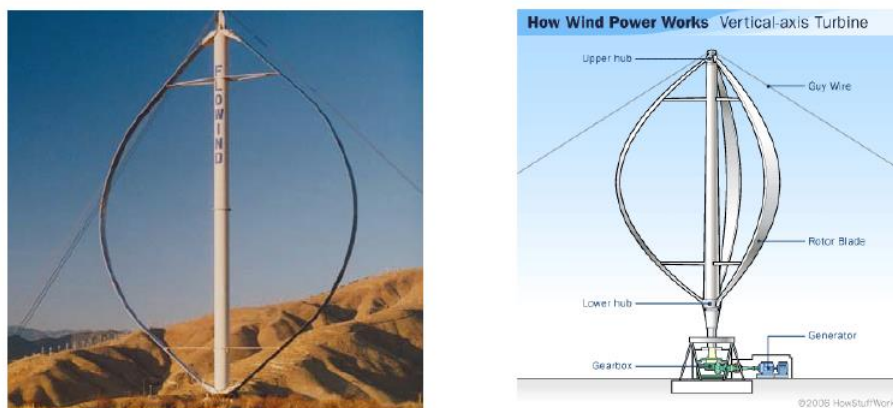
Fonte: MÜLLER, (2015).

2.4.2 Turbinas eólica com rotores de eixo vertical

Estas turbinas fazem o mesmo princípio das modernas turbinas hídricas, ou seja, o escoamento é paralelo ao eixo de rotação das pás da turbina. E o eixo de rotação é perpendicular ao terreno (CASTRO, 2009).

A única turbina de eixo vertical que foi, fabricada comercialmente era uma máquina do tipo *Darrieus* (Figura 8), normalmente com duas ou três pás em forma de C (CASTRO, 2009).

Figura 8: Turbina de eixo vertical do tipo Darrieus.



Fonte: CASTRO, (2009).

Ainda, de acordo com MÜLLER (2015), os aerogeradores de eixo vertical podem ainda ser separados em dois tipos:

Darrieus: São aerogeradores que apresentam um perfil aerodinâmico desenhado semelhante às asas de aviões, o que ajuda a dar sustentação para movimentação e produção energética.

Figura 9: Turbina Eólica de Eixo Vertical do tipo Savonius



Fonte: MÜLLER, (2015).

Savonius: Possuem como força principal a força de arrasto. Sendo assim, a pressão do ar é o principal responsável pelo giro da turbina. É o tipo de aerogerador menos eficiente para produção de energia elétrica.

Figura 10: Turbina Eólica de Eixo Vertical do tipo Savonius



Fonte: MÜLLER, (2015).

As principais vantagens das turbinas de eixo vertical podem ser descritas da seguinte forma:

- Simplicidade na concepção;
- Insensibilidade à direção do vento, dispensando o mecanismo de orientação direcional;
- Possibilidade de instalação junto ao solo de todo o equipamento de conversão da energia mecânica.

Quanto às desvantagens, têm-se os seguintes:

- Velocidades do vento muito baixas junto à base;
- Incapacidade de auto-arranque, necessitando de meios exteriores de auxílio;
- Necessidade de utilização de espias de suporte;
- Esforços dinâmicos acrescidos, devido ao comportamento inerentemente periódico.

Para fim de estudo deste trabalho vamos utilizar a turbina de eixo horizontal, devido a serem mais usadas amplamente do que as de eixo vertical e por apresentarem um maior rendimento aerodinâmico e ficam menos vulneráveis a esforços mecânicos.

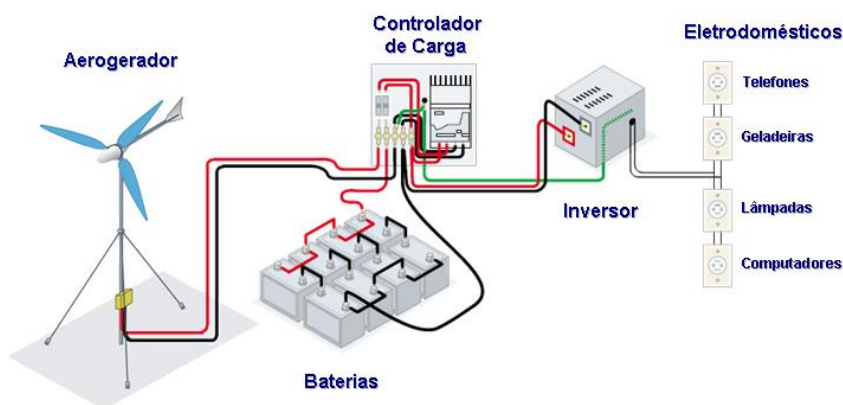
2.5 CONEXÃO DO MINI AEROGERADOR À REDE ELÉTRICA

Os minis aerogeradores podem ser instalados em três tipos de configurações (sistemas isolados, sistemas híbridos e interligados a rede).

2.5.1 Sistemas isolados

Para os sistemas isolados mostrado na figura abaixo, faz-se necessário um sistema de armazenamento de energia (CEPEL, 2008).

Figura 11: Configuração de um sistema eólico isolado



Fonte: CEPEL, (2008)

O sistema isolado que necessita de um dispositivo para controlar a carga e a descarga das baterias. O principal objetivo do controlador é não deixar que haja danos nas baterias por sobrecargas ou descargas profundas. E para a alimentação dos equipamentos faz-se necessário a utilização de um inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) (CEPEL, 2008).

2.5.2 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são aqueles que apresentam varias fontes de geração de energia como, Aerogerador, gerador a diesel, fotovoltaico, etc. Logo a geração de varias formas de geração elétrica aumenta a complexibilidade do sistema, nesse caso é necessário um controle de todas as fontes para que haja uma máxima eficiência. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio a grande porte destinados a atender um número maior de usuários (CEPEL, 2008).

Figura 12: Configuração de um sistema eólico híbrido

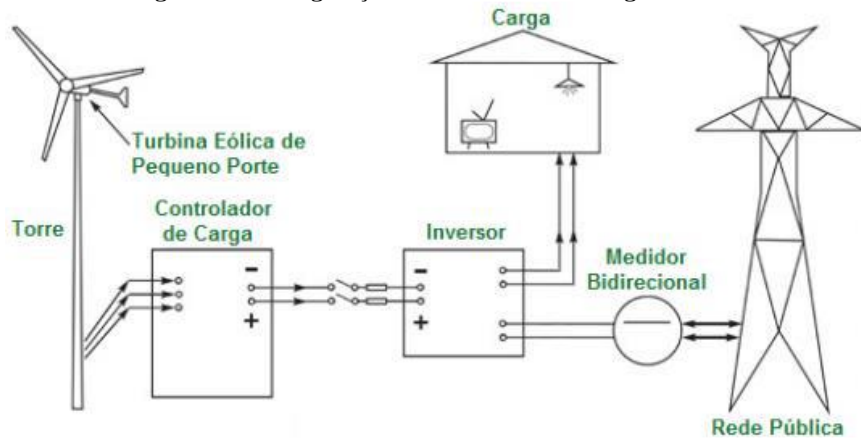


Fonte: CEPEL, (2008)

2.5.3 Sistema interligados a rede

Os sistemas interligados à rede elétrica, não se faz necessário um sistema de armazenamento de energia, pois o produtor trabalha em paralelo com a distribuidora, isto é, quando o produtor exceder o consumo de energia, será utilizada pela concessionária, que depois descontará da fatura do consumidor; da mesma maneira, quando o consumo for maior do que a produção, a distribuidora fornecerá a energia necessária para o consumidor (FONSECA; RAMALHO, 2018).

Figura 13: Configuração de um sistema interligado a rede



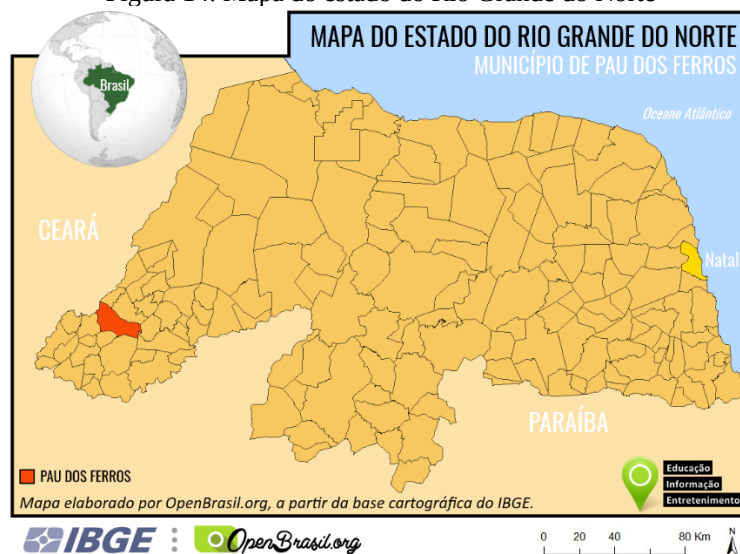
Fonte: FONSECA; RAMALHO, (2018)

3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ESCOLHIDO

3.1 MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS-RN

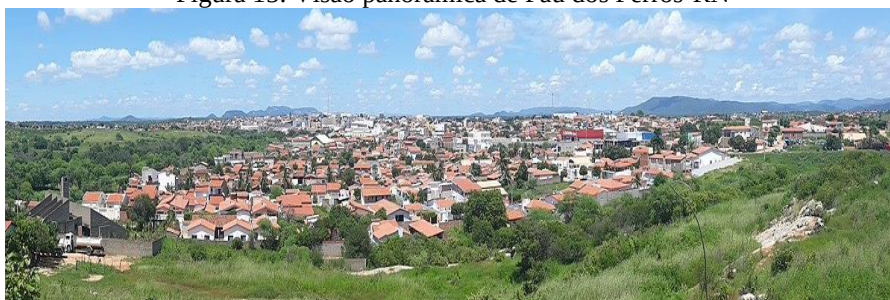
Pau dos Ferros-RN é um município do interior do estado do Rio Grande do Norte. É a principal cidade da região do Alto Oeste, ocupando uma até de aproximadamente 260 km², sendo 9,726 km² de área urbana. E de acordo com o IBGE (2019) sua população vigente é de 30.394 pessoas.

Figura 14: Mapa do estado do Rio Grande do Norte



Fonte: IBGE, (2019).

Figura 15: Visão panorâmica de Pau dos Ferros-RN



Fonte: Wikipedia, (2019).

Como observado a figura acima, a cidade de Pau dos Ferros tem uma boa vantagem na instalação de aerogeradores, visto que não possui muitas edificações altas em comparação a grandes centros urbanos, o que melhora a circulação dos ventos.

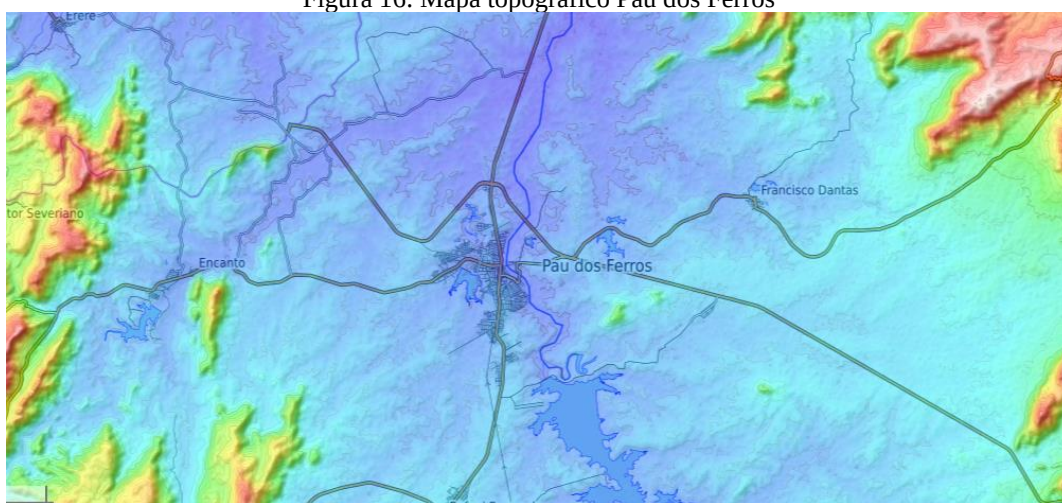
Pau dos Ferros é composto por prédios de, em média, 5m a 10m de altura, distribuído em torno de sua área. Logo o aerogerador pode ser instalado na cobertura da edificação, mas para isso está deve estar projetada para suportar o equipamento, como as edificações não foram

construídas com esse reforço na estrutura, o estudo da instalação do aerogerador será com base na utilização de uma torre de sustentação fornecida pelo fabricante, a uma altura de 10 metros.

3.2 RELEVO DE PAU DOS FERROS- RN

Predomina-se um relevo plano em Pau dos Ferros-RN, com altitudes variando entre 100 e 200m, que é constituído pela Depressão Sertaneja, que abrange terrenos baixos de transição entre a Chapada do Apodi e o Planalto da Borborema.

Figura 16: Mapa topográfico Pau dos Ferros



Fonte: MAPA, (2019)

E o clima é quente e semiárido, com precipitações concentradas no primeiro semestre do ano, especificamente entre os meses de fevereiro até maio. As temperaturas são elevadas durante todo o ano e, é considerado entre os municípios um dos mais quentes do Rio Grande do Norte.

3.3 VELOCIDADE DOS VENTOS EM PAU DOS FERROS

Os dados das velocidades dos ventos utilizados nesse estudo foram adquiridos a partir de uma estação meteorológica da UFERSA - Pau dos Ferros, e estar localizada no próprio campus na BR-226, s/n, Pau dos Ferros – RN. E que podemos utilizar como referência para todo o município. As medições foram realizadas a uma altura de 2 metros, com periodicidade diária, em um período de um ano.

A tabela abaixo é mostrada todas as medias mensais das velocidades dos ventos na região de Pau dos Ferros-RN, a uma altura de 2 metros.

Tabela 1: Velocidade média mensal dos ventos a 2 metros de altura.

Mês	Velocidade média mensal m/s	Mês	Velocidade média mensal m/s
Novembro	2,10	Maio	1,32
Dezembro	1,71	Junho	1,78
Janeiro	1,25	julho	1,82
Fevereiro	1,11	Agosto	1,98
Março	1,13	Setembro	2,05
Abril	1,21	Outubro	2,03

Fontes: Autor, (2020)

É possível perceber que as velocidades medias dos meses no período de um ano são bem abaixo da velocidade aproveitável para uma geração de energia eólica (em torno de 7 m/s), mas, existem aerogeradores capazes de dispor um melhor aproveitamento em velocidades baixas.

Neste caso foram escolhidos três tipos de micro aerogeradores para análise de estudo e eficiência, que serão tratados mais a frente, e todos eles seriam instalados a uma altura de 10 metros. Desta maneira, os valores das velocidades medias de vento apresentam um pequeno aumento, e de certa forma foi considerado no estudo a fim de torna-lo mais eficiente.

Como esse estudo está voltado para uma altitude de 10 metros, logo, para estimar a velocidade do vento nessa altitude utilizamos da lei de Hellman que é expressa logo abaixo (OZAWA, 2017).

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

Onde:

$h1$ = Altura medida pela estação meteorológica;

$h2$ = 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 temperatura, a natureza da superfície, estação, hora do dia, estabilidade do ar e rugosidade da superfície. Assim a O expoente de Hellman (α) pode ser obtida a partir da relação abaixo (OZAWA, 2017).

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

Onde:

α = Expoente de Hellman;

z_0 = Comprimento de rugosidade.

A Tabela 2 a seguir mostra os valores do comprimento de rugosidade de acordo com o perfil do local a ser escolhido. Contudo estes valores não são consensuais, varia de acordo com o autor e com o tipo de estudo (Ferreira et al, 2010).

Tabela 2: Comprimento de Rugosidade

Tipo de cobertura	z_0 (m)		
	Davenport	Spera ²	Atlas Europeu ³
Mar aberto ou corpos d'água	0,0002	0,0001 a 0,001	0,0001
Praias, áreas planas sem obstáculos, solo coberto por neve	0,005	0,0001 a 0,002	-
Pradarias, tundra e aeroportos	0,03	-	0,01
Áreas com plantas baixas e poucos obstáculos	0,10	0,002 a 0,30	0,03 a 0,10
Culturas agrícolas de altura variável e obstáculos dispersos	0,25	-	0,15 a 0,30
Áreas intensamente cultivadas com muitos obstáculos agrupados, separados por espaços abertos, ou áreas com edifícios baixos (subúrbios)	0,50	0,40	0,50
Áreas ocupadas por obstáculos regulares e de mesma altura (áreas florestadas, áreas urbanas densamente ocupadas com prédios com pouca variação altimétrica)	1,0	1,2	-
Centros de cidades com edifícios de diferentes alturas	$\geq 2,0$	3,0	1,0

Fonte: Ferreira *et al*, (2010)

O local selecionado de estudo se encaixa em “áreas ocupadas por obstáculos regulares e de mesma altura”, ou seja, possui um valor de comprimento de rugosidade de 1,0 m. A partir deste valor, foram calculados o expoente de Hellman e as velocidades dos ventos na altura de 10 metros.

Na tabela e no gráfico abaixo, mostra os valores e o comparativo entre as velocidades média mensal a altura de 2 metros fornecida pela estação meteorológica da UFERSA e a velocidade média calculadas a altura de 10 metros, que possivelmente será instalado o micro

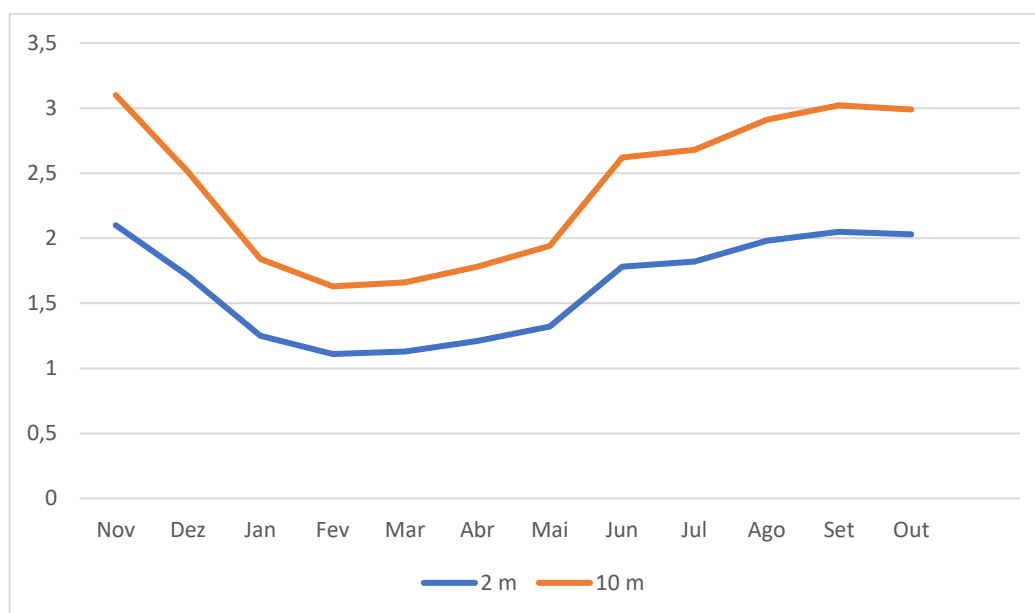
aerogerador. Podemos ver que temos um aumento bastante significativo nas velocidades media mensais tornando o estudo mais assertivo.

Tabela 3: Velocidade média mensal dos ventos calculado a 10 metros de altura.

Mês	Velocidade média mensal m/s	Mês	Velocidade média mensal m/s
Novembro	3,1	Maio	1,94
Dezembro	2,51	Junho	2,62
Janeiro	1,84	julho	2,68
Fevereiro	1,63	Agosto	2,91
Março	1,66	Setembro	3,02
Abril	1,78	Outubro	2,99

Fontes: Autor, (2020)

Gráfico 2: Comparativo das velocidades medias mensais a altura de 2 m e 10 m



Fontes: Autor, (2020)

4 POTÊNCIA EXTRAÍDA POR UMA TURBINA EÓLICA E MICRO AEROGERADORES

A equação geral que serve para determinação da potência fornecida por um aerogerador genérico é obtida multiplicando a equação da potência do vento pelo coeficiente de potência, que é caracterizado pelo nível de rendimento da turbina (AMARAL, 2011). Logo temos a equação da potência do vento mostrada 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).

Assim, a partir da equação da potência média do vento, podemos encontrar a potência extraída pela turbina considerando as perdas mecânicas (AMARAL, 2011).

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

Onde:

P_t = Potência extraída pela turbina (W);

C_p = Coeficiente de potência;

P_v = Potência média do vento (W).

O coeficiente de potência $C_p = 0,593$, significa que somente 59,3% da potência disponível no vento pode ser convertida em potência mecânica por uma turbina eólica (AMARAL, 2011).

Apesar da equação anterior já considerar as perdas mecânicas no decorrer do processo, este cálculo não leva em conta as diferentes particularidades de cada turbina (AMARAL, 2011).

Em seguida são apresentados três modelos de micro aerogeradores escolhidos para análise de viabilidade e posteriormente, apresentando os cálculos de potencia gerada por cada micro aerogerador.

4.1 MODELOS DE MICRO AEROGERADORES

Como se trata de um ambiente residencial ou até mesmo industrial, o micro aerogerador a ser escolhido deverá ter uma considerável eficiência e ser silencioso. E para alcançar a eficiência necessária precisamos relacionar diferentes modelos de micro aerogeradores e, a partir dos resultados ser possível definir o mais adequado para o estudo.

Logo foram escolhidos três modelos com especificações diferentes, mas sendo todos do mesmo fornecedor para não haver discrepância nos dados de cada micro aerogerador.

4.1.1 Notus 138

É uma turbina de eixo horizontal com uma potência nominal de 420 W e uma rotação de 1100 rpm. Possuindo três pás e uma velocidade de partida de 2,2 m/s. ele foi desenvolvido visando suprir pequenas necessidades de energia e suas principais vantagens são a fácil instalação e baixo nível de ruído. Podendo ser instalado em sistemas isolados, híbridos e interligados a rede (ENERSUD, 2020).

Figura 16: Aerogerador notus 138



Fonte: ENERSUD, (2020).

4.1.2 Gerar 246

É uma turbina de eixo horizontal, alcançando até 1000 W de potência e uma rotação de 740 rpm. Possui 3 pás, e a uma velocidade de partida de 2m/s. esse micro aerogerador pode atender a consumos baixos e médios como uma residência, iluminação pública, entre outras aplicações. Além disso ele pode ser instalado em sistemas isolados, híbridos e conectados à rede (ENERSUD, 2020).

Figura 17: Aerogerador gerar 246



Fonte: ENERSUD, (2020).

4.1.3 Verne 555

A turbina verne 555 como as anteriores também é uma turbina de eixo horizontal, chegando a uma potência de 6000 W. contendo também três pás, uma rotação baixa de 240 rpm e uma velocidade de partida de 2,2 m/s. Sendo capaz de superar um consumo individual. E também como as outras turbinas, pode ser instalada em sistema isolados, híbridos e interligado a rede (ENERSUD, 2020).

Figura 18: Aerogerador verne 555



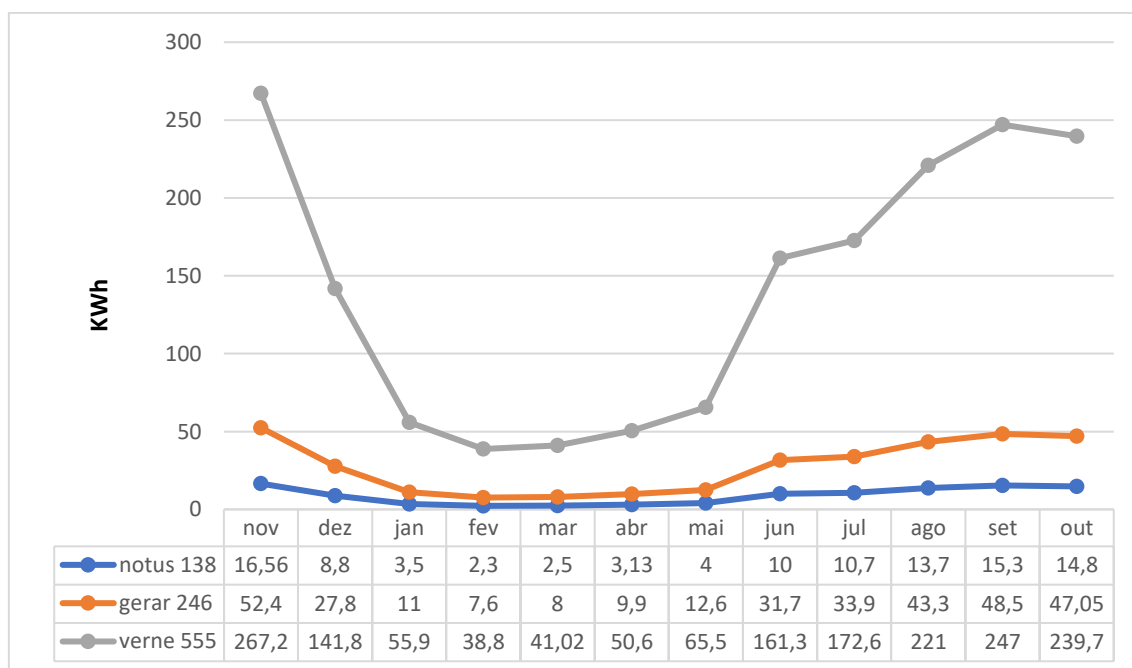
Fonte: ENERSUD, (2020).

4.2 CÁLCULO DA POTÊNCIA FORNECIDA MENSALMENTE POR CADA MICRO AEROGERADOR

Para determinarmos a potência fornecida de cada micro aerogerador, foi realizado o cálculo usando a fórmula da potência extraída pela turbina, equação (4), a partir dos dados fornecido pelo fabricante de cada micro aerogerador e das velocidades médias de ventos mensais, definida a uma altura de instalação de 10 metros.

No gráfico abaixo são mostrados os valores das potências média calculadas mensalmente, para cada micro aerogerador mostrado anteriormente, no período de um ano (01 de novembro de 2018 a 30 de outubro de 2019).

Gráfico 3: Potência fornecida pelos minis aerogeradores.



Fonte: Autor, (2020)

A partir da equação (4) foi possível obter a potência extraída de cada micro aerogerador e, a partir do gráfico acima podemos analisar a eficiência de cada micro aerogerador de acordo com as respectivas potências médias geradas mensalmente no período de um ano.

Podemos notar que a eficiência energética não segue um padrão constante durante o ano, logo constata-se que, se tem um melhor aproveitamento energético no período de junho até dezembro.

Agora analisando o gráfico em relação a eficiência de cada turbina podemos ver que, a turbina notus 138 foi a que teve menor eficiência nessa região de estudo. Já a gerar 246 teve uma eficiência mediana em alguns períodos do ano, servindo apenas para uso de um baixo consumo energético. Mas já a verne 555 obteve um resultado bastante satisfatório, podendo suprir parcialmente ou totalmente o consumo energético de uma determinada residência.

Desse modo, o micro aerogerador verne 555 foi o modelo escolhido para o estudo da viabilidade, apresentado no capítulo posterior.

5 ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRO AEROGERADORES EM PAU DOS FERROS-RN

Projetos ou empreendimentos que propõem inovações necessitam de cinco variáveis relevantes a serem consideradas e analisadas, são elas: técnica, ambiental, social e econômica. Logo para a realização desse estudo serão discutidas todas essas cinco variáveis, de forma a concluir a viabilidade da implementação de micro aerogeradores em Pau dos Ferros-RN.

5.1 VIABILIDADE TÉCNICA

A viabilidade técnica está relacionada com a tecnologia a ser desenvolvida ou utilizada no ambiente de trabalho. É de fundamental importância a realização desse estudo pois com ele se obtém os conhecimentos sobre as dificuldades técnicas da tecnologia, obtenção de matéria prima, entre outros fatores. Evitando assim gastos desnecessário (FARIA, 2014).

Para o caso dos micros aerogeradores, apesar de ser uma tecnologia pouco abrangida no Brasil, mostrou-se de fácil acesso e aquisição com existência de alguns fabricantes dos equipamentos, fornecendo todo conjunto necessário para a instalação e o perfeito funcionamento do sistema eólico. E ainda os próprios fabricantes são especializados para fazerem a instalação do equipamento, realizando os testes necessários para o perfeito funcionamento do sistema.

Logo, esse tipo de projeto se mostrou viável tecnicamente, visto que as dificuldades propostas inicialmente foram contornadas com facilidade.

5.2 VIABILIDADE COMERCIAL

A viabilidade comercial consiste em analisar o tamanho do mercado em que a tecnologia se aplica. E essa análise correta do mercado é essencial para determinar o retorno econômico do projeto. O estudo da viabilidade comercial auxilia na ampliação do conhecimento sobre o público-alvo na utilização da tecnologia, o que pode determinar os rumos do projeto. (FARIA, 2014).

Como já mencionado no início deste trabalho, a energia eólica vem demonstrando um forte crescimento no Brasil e as estimativas é que continue a aumentar nos próximos anos. Dessa forma a geração de energia eólica em pequena escala com os micros aerogeradores, mostra-se um forte aliado a esse crescimento, juntamente com outras fontes de energia

renováveis. Portanto, a demanda existente na aquisição desses projetos vem se tornando cada vez mais frequente.

Sendo assim, esse mercado demonstra uma positiva expectativa de crescimento para o futuro, mostrando-se viável comercialmente, visto que ajuda a fornecer energia para uma parcela da demanda crescente, sendo então de suma importância para o cliente e sua tecnologia possui muitos benefícios gerando energia limpa e sustentável.

5.3 VIABILIDADE AMBIENTAL

Para analisar a viabilidade ambiental, analisamos alguns fatores: consumo de energia, consumo de água e emissão de gases poluentes (FARIA, 2014). Como se trata de uma fonte de energia renovável, não é consumido energia ou água em sua operação e, também não se emite nenhum tipo gases poluentes.

Além disso, a área de instalação será em uma área urbana, onde já se é explorado, não havendo nenhum tipo de impacto ambiental durante a instalação e em todo decorrer da operação.

Portanto como trata de ser um equipamento que não consome energia ou água e, não causa impacto ambiental, a implementação do micro aerogerador de torna viável ambientalmente.

5.4 VIABILIDADE SOCIAL

A viabilidade social está ligada aos impactos sociais resultantes ao empreendimento a ser realizado, impactando diretamente na qualidade de vida dos demais (FARIA, 2014).

Um impacto social que afeta diretamente no ambiente é a quantidade de ruído externo que os micros aerogeradores podem causar, mas isso vai depender muito do modelo a ser escolhido. Tendo base nos aerogeradores que foi analisado nesse trabalho, o micro aerogerador Verne 555 é o modelo mais eficiente e também o que possui o maior nível de ruído. Segundo o fabricante, para ventos que não ultrapassem 4 m/s os valores ficam em torno de 42 dB. Visto que a NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, estipula níveis de ruído entre 50 e 55 dB. Ficando assim, aceitável a operação do micro aerogerador.

Além disso, a implementação dos micros aerogeradores na cidade de Pau dos Ferros, causaria uma interação da comunidade e a geração de energia sustentável, e essa interação pode causar mais interesse e incentivo para mais aplicações, tornando uma grande relevância ambiental.

A partir do que foi tratado acima e por estar de acordo com a norma da ABNT. Podemos dizer que é viável socialmente.

5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica é um estudo capaz de fornecer informações a respeito do investimento financeiro no projeto e o retorno e futuramente. Seu objetivo é prever ou antecipar cenários otimistas e pessimistas do projeto. No estudo da viabilidade econômica existe vários parâmetros a ser analisados, mas nesse estudo utilizaremos apenas dois parâmetros, a projeção de custos e investimentos e, a rentabilidade (IBC, 2020).

Para podermos analisar a rentabilidade do projeto precisamos fazer uma análise dos custos e investimentos. A partir da análise do potencial eólico feito no capítulo 4, vimos que o micro aerogerador que obteve melhor eficiência foi o verne 555 e, foi o escolhido para o estudo da viabilidade. Assim a tabela 4 apresenta os valores do micro aerogerador verne 555 e os equipamentos necessários para instalação.

Logo, também partindo da análise da potência extraída pelo micro aerogerador verne 555 no capítulo 4, podemos constatar que o equipamento não será proveitoso se o sistema for isolado, visto que a potência extraída pela turbina não ultrapassa o consumo da residência, deixando assim ineficiente o uso de baterias, fazendo com seja necessário um sistema interligado a rede para que a distribuidora de energia forneça a energia complementar ao consumidor.

Tabela 4: Custos dos equipamentos

Verne 555	Inversor Xantrex Xpower5000	Controlador de Carga MPPT Epever TRIRON	Kit Torre	Tubo Din 2440-3”
R\$ 29.500,00	R\$ 5.699,00	R\$ 769,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00

Fonte: FIGUEIREDO, (2019).

Assim os valores dos custos totais para o aerogerador, equipamentos e instalação são mostrados na tabela 5, onde o custo de instalação foi considerado em 40% dos ativos (FIGUEIREDO, 2019).

Tabela 5: Custo total dos equipamentos

Tipo	Aerogerador	Equipamentos	Instalação	Total	Vida útil (ano)
Verne 555	R\$ 29.500,00	R\$ 8.168,00	R\$ 15.067,20	R\$ 52.735,20	20

Fonte: FIGUEIREDO, (2019).

Para realizar a análise da viabilidade econômica foi utilizado o cálculo da produção energética do micro aerogerador verne 555, como já foi mencionado, foi o micro aerogerador que mais apresentou eficiência, (como mostrado no capítulo 4), e a comparação com os custo do consumo energético de uma residência comum em Pau dos Ferros-RN, fornecidos pela concessionária de energia.

Na tabela abaixo estão os valores do consumo energético da residência escolhida, que está situada na Rua Francisco Abílio de Oliveira, Pau dos Ferros-RN. No período de novembro de 2018 a outubro de 2019.

Tabela 6: Dados do consumo energético da residência escolhida

Período	Consumo (KWh)	Custo (KWh)	Valor da conta
11/2018	287	R\$ 0,60	R\$ 172,20
12/2018	332	R\$ 0,60	R\$ 199,20
01/2019	264	R\$ 0,60	R\$ 158,40
02/2019	333	R\$ 0,60	R\$ 199,80
03/2019	342	R\$ 0,60	R\$ 205,20
04/2019	349	R\$ 0,67	R\$ 233,83
05/2019	328	R\$ 0,67	R\$ 219,76
06/2019	363	R\$ 0,67	R\$ 243,21
07/2019	287	R\$ 0,67	R\$ 192,29
08/2019	362	R\$ 0,67	R\$ 242,54
09/2019	337	R\$ 0,67	R\$ 225,79
10/2019	360	R\$ 0,67	R\$ 241,20

Fonte: Autor, (2020)

Já os dados do consumo energético da residência e o cálculo da economia proposta pelo micro aerogerador encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 7: Comparativo da viabilidade econômica da implementação do micro aerogerador

Período	Consumo (KWh)	Custo (KWh)	Valor da conta	Consumo com aerogerador (KWh)	Valor da conta com aerogerador	Economia Mensal
11/2018	287	R\$ 0,60	R\$ 172,20	19,58	R\$ 11,75	R\$ 160,45
12/2018	332	R\$ 0,60	R\$ 199,20	190,2	R\$ 114,12	R\$ 85,08
01/2019	264	R\$ 0,60	R\$ 158,40	208,1	R\$ 124,86	R\$ 33,54
02/2019	333	R\$ 0,60	R\$ 199,80	294,2	R\$ 176,52	R\$ 23,28
03/2019	342	R\$ 0,60	R\$ 205,20	300,98	R\$ 180,58	R\$ 24,62
04/2019	349	R\$ 0,67	R\$ 233,83	298,4	R\$ 199,92	R\$ 33,91
05/2019	328	R\$ 0,67	R\$ 219,76	262,5	R\$ 175,87	R\$ 43,89
06/2019	363	R\$ 0,67	R\$ 243,21	201,7	R\$ 135,13	R\$ 108,08
07/2019	287	R\$ 0,67	R\$ 192,29	114,4	R\$ 76,64	R\$ 115,65
08/2019	362	R\$ 0,67	R\$ 242,54	141	R\$ 94,47	R\$ 148,07
09/2019	337	R\$ 0,67	R\$ 225,79	90	R\$ 60,30	R\$ 165,49
10/2019	360	R\$ 0,67	R\$ 241,20	120,3	R\$ 80,60	R\$ 160,60
Economia anual						R\$ 1.102,66
Investimento						R\$ 52.735,20
Tempo de retorno (anos)						47

Fonte: Autor, (2020)

A partir da tabela acima, podemos ver que o consumo energético da residência foi de 3.941 KWh no período de um ano (novembro de 2018 a outubro de 2019), enquanto a potência fornecida do micro aerogerador foi de 1.700 KWh, o que nos dá apenas 43,14% da demanda energética da residência.

Com esses resultados vimos que o micro aerogerador verne 555 pode oferecer uma economia de R\$ 1.102,66 ao ano e o tempo de retorno, sem considerar os custos com manutenção, seria aproximadamente 47 anos para essa residência em específica. Como o estudo é abranger qualquer tipo de residência, podemos também considerar uma residência com o consumo energético menor do que essa analisada, podendo fazer com que o aerogerador chegue a suprir até 100% da demanda energética de uma determinada residência, mostrando-o ser viável economicamente.

6 CONCLUSÕES

No desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma revisão teórica, acerca do potencial eólico e das turbinas eólicas como um todo, com ênfase nos micros aerogeradores. De maneira mais geral, fazendo uma busca pela diversificação da matriz energética no Brasil e pela necessidade da produção de energias renováveis, mostrando toda sua importância e o forte crescimento no mundo.

E para a verificação da viabilidade, foram feitos cálculos para estimativa das velocidades medias de ventos e do potencial eólico em Pau dos Ferros-RN, proporcionando uma escolha mais adequada do micro aerogerador para essa região, isso considerando as características do equipamento e as particularidades da região. Sendo assim foi possível determinar a praticabilidade desta aplicação.

Com isso, esse projeto se mostrou ser viável tecnicamente, comercialmente, socialmente e economicamente. Por ser uma tecnologia já conhecida, o que torna ela de fácil acesso e fornecimento por determinadas empresas no mercado, sem falar comercialmente, já que a demanda energética no Brasil só tende a crescer juntamente com o crescimento do mercado, proporcionando cada vez mais o incentivo dessa tecnologia que demonstrou ter muitos benefícios tanto ambientais e sociais.

Apesar de ter demonstrado uma certa viabilidade econômica, no entanto, devido a falta de um incentivo fiscal do governo, o desenvolvimento prematuro da tecnologia e a falta de um mercado mais abrangente, mostra-se ainda um pouco arriscado o investimento nesse tipo de projeto, devido ao grande período de retorno. Mas ainda sim mostra-se ser um bom investimento.

Por fim, esse trabalho se mostrou efetivo naquilo que se propôs fazer. Foi mostrada uma metodologia para o dimensionamento de aerogeradores voltados a geração de pequeno porte, analisando as condições climáticas do local de estudo escolhido, bem como a energia eólica no Brasil e no mundo de uma maneira mais geral. O principal resultado do projeto, juntamente com a necessidade do crescimento dessa tecnologia no Brasil e no Mundo.

Portanto, deixo algumas sugestões para futuros trabalhos.

- Selecionar uma região com maiores incidências de ventos, afim de escolher um micro aerogerador eficiente e de baixo custo;

- Escolher um consumidor com uma demanda energética mais baixa, para que possa obter um retorno mais favorável;
- E se possível, instalar o micro aerogerador a uma posição mais elevada.

7 REFERÊNCIAS

AMARANTE, O. A. C., Zack, J., Brower, M. e Sá, A. L., **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, Brasília, 2001.

BARROS, Maria Cecília B. L. de. **Geração distribuída de energia elétrica a partir da fonte eólica no Brasil**. São Paulo, 2011. Disponível em: < http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_046_2011.pdf >. Acesso em: 23 de nov. 2019

BEZERRA ET ALL. **Estudo analítico do processo licitatório ambiental para empreendimentos eólicos no estado do Rio Grande do Norte**. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, v. 2, n. 29, p. 34-48, 2013. Disponível em: < <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1253/659> >. Acesso em: 18 de set. 2019.

SILVA, José Wanderson Oliveira. **Protótipo de um aerogerador de pequeno porte para uso residencial**. 2014. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FERREIRA JÚNIOR, José Benjamin Moraes. **Projeto de um aerogerador vertical de pequeno porte para aplicação em habitações populares em centros urbanos**. 2016. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017945.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CARMO, D. M. F. G. M., **Projeto de uma turbina eólica de eixo vertical para aplicação em meio urbano**, dissertação de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, 2012.

COTIA, F. C. G., **Uso de Tecnologias Fotovoltaicas e Aerogeradores para Geração de Energia no Meio Urbano**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

RODRIGUES, Paulo Roberto. **Energias renováveis: energia eólica**. Santa Catarina: Unisul, 2011. 54 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2005. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b >. Acesso em: 22 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> >. Acesso em: 22 nov. 2019.

SANTOS, Renan. **Como se formam os ventos**. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2018/06/12/coluna-or-como-se-formam-os-ventos/>>. Acesso em: 26 out. 2019.

BARBOSA, Vanessa. **Os números do mercado de energia eólica no mundo**. 2018. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/os-numeros-do-mercado-de-energia-eolica-no-mundo-brasil-avanca/>>. Acesso em: 21 out. 2019.

CEPEL. **Energia eólica princípios e tecnologias**. 2008. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/energia-eolica-principios-tecnologias.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

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**. 2018. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11748/1/CT_COELE_2018_2_26.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

BREITENBACH, Guilherme. **Análise do potencial eólico para geração de energia elétrica em São Francisco de Paula, RS, utilizando método computacional wasp**. 2016. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1402/1/2016GuilhermeBreitenbach.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

CASTRO, Rui M.g.. **Introdução à Energia Eólica**. 4. ed. Lisboa: Deec, 2009. 93 p. Disponível em: <http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/aperfeicoamento/MedicaoAnemometrica/Biblioteca/Livros/Introducao_a_Energia_Eolica.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

FERNANDES, Gabriel Antônio Assef. **Estudo de viabilidade técnico econômico para instalação de um sistema eólico**. 2012. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Mba em Gestão Estratégica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/39130/R%20-%20E%20-%20GABRIEL%20ASSEF%20FERNANDES.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

PAVINATTO, Eduardo Fiorini. **Ferramenta para auxílio à análise de viabilidade técnica da conexão de parques eólicos à rede elétrica**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005

GOMES, Amanda Mendes Ferreira; TRIERVEILER, Matheus. **Desenvolvimento de um mini gerador eólico de baixo custo utilizando a técnica do it yourself**. 2018. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/5247>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

BRASIL. INSTITUTO IDEAL. (Ed.). **Como faço para ter energia eólica em minha casa?** Disponível em: <<https://institutoideal.org/guiaeolica/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

MÜLLER, Matheus do Nascimento. **Projeto de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal**. 2015. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014739.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

IBGE. **Pau dos Ferros**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>>. Acesso em: 05 dez. 2019.

WIKIPÉDIA. **Pau dos Ferros**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pau_dos_Ferros#Geografia>. Acesso em: 05 dez. 2019.

OPEN BRASIL. **Pau dos Ferros Rio Grande do Norte**. Disponível em: <<https://pau-dos-ferros.openbrasil.org/search/label/01.%20Pau%20dos%20Ferros%20%2F%20RN>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

MAPA topográfico Pau dos Ferros. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gwko/Pau-dos-Ferros/>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

FERREIRA, D. G.; FERREIRA, C. M. O.; ASSIS, E. S. **Classificação de rugosidade em tecido urbano**. Parte I: fundamentação teórica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. Anais... Belém, 2010. 5p

OZAWA, Maurilio Takeshi. **Aplicação de parâmetros da distribuição de weibull na análise do potencial energético de um micro gerador eólico em cidades do estado do Paraná**. 2017. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Engenharia Eletrônica, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8448/1/PG_COELE_2017_2_13.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2020.

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.

ENERSUB: energia limpa. energia limpa. 2020. Disponível em: <<http://www.enersud.com.br/>>. Acesso em: 06 jan. 2020.

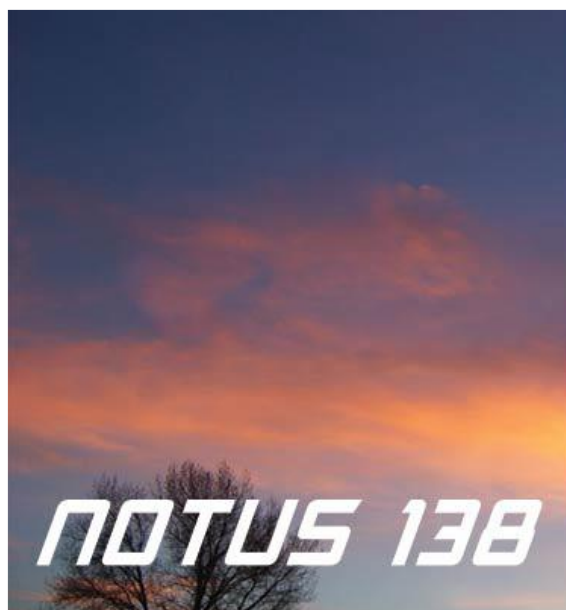
FARIA, Adriana Ferreira de; SILVA, Tiago Pinheiro da; RODRIGUES, Marcos Fernandes de Castro. **Método para Análise e Avaliação de Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial e do Impacto Ambiental e Social (EVTECIAS)**. Belém, 2014.

BARRETO, Juliana et al. **O estudo de viabilidade aplicado a projetos de empresas nascentes de base tecnológica de origem acadêmica**. enegep, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p.1-13, out. 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_142_896_19125.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2020.

IBC. **Aprenda como elaborar um estudo de viabilidade econômica de projetos**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibccoaching.com.br/portal/aprenda-como-elaborar-um-estudo-de-viabilidade-economica-de-projetos/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

FIGUEIREDO, Ana Clara Valente Salgueiro. **Avaliação de viabilidade de aplicação de aerogerador de pequeno porte em uma pousada em Arraial do Cabo**. 2019. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10028417.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

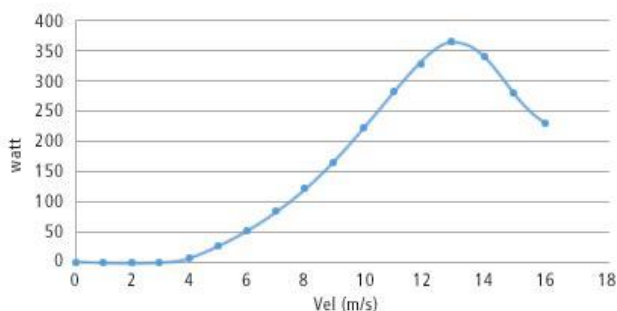
ANEXO A – Especificações técnicas dos micros aerogeradores.



A turbina eólica NOTUS 138 foi desenvolvida para atender a pequenas necessidades de energia como embarcações, postes de iluminação, residências de baixo consumo, estações de telecomunicação, dentre outras. O NOTUS 138 possui um alto rendimento aerodinâmico e alcança até 350W de potência. O NOTUS 138 pode ser aplicado em sistemas isolados (uso de baterias) e conectados à rede por meio de inversores de potência.

CARACTERÍSTICAS NOTUS 138	
Diâmetro da hélice	1,38 m
Potência a 12,5 m/s	350 Watt
Rotação a 12,5 m/s	800 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 (ímã permanente)
Sistema elétrico	Trifásico
Tensão de saída	12 / 24 / 48 volts
Topologia	Fluxo Axial (com estator encapsulado em resina epóxi)
Peso total (alternador+pás+ cab.Rot.)	12,5 Kg
Material Anti Corrosão	Alumínio / Inox / Mat.Galvanizado
Balanceamento	Estático (confirmação após pintura)
Retificador trifásico	No interior da turbina

Curva de Potência NOTUS 138



PRODUÇÃO DE ENERGIA NOTUS 138 (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	26	35	44	53	62	75	84	88	89	88	
15 m	14	20	27	34	42	57	70	79	85	88	
12 m	13	18	24	31	39	54	67	77	84	87	
09 m	11	16	21	28	35	49	62	73	81	86	
06 m	9	13	17	23	29	42	56	67	77	83	

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



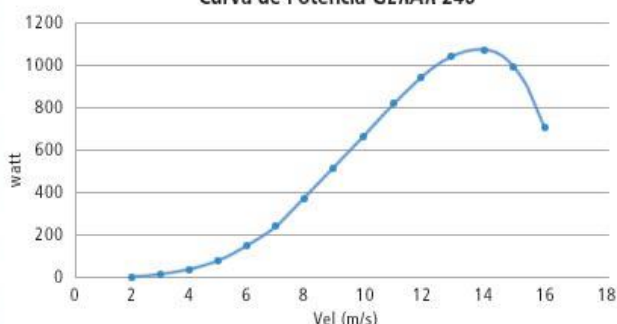
A turbina eólica GERAR 246 foi desenvolvida para atender às necessidades de energia de consumidores individuais ou aplicações específicas. Dependendo da velocidade do vento a turbina GERAR 246 pode atender a uma residência de médio consumo, a demandas como estações de telecomunicação, bombeamento de 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 (ímã 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
Balanceamento	Estático (confirmação após pintura)

Curva de Potência GERAR 246



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



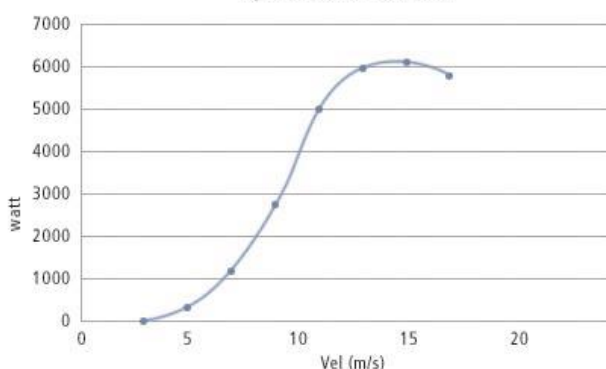
A turbina eólica VERNE 555 foi desenvolvida para atender às necessidades de energia que superam o consumo individual. Dependendo da velocidade do vento a turbina VERNE 555 pode gerar até 6 kw e é ideal para alimentar pequenos conjuntos residenciais, suprir de energia localidades isoladas como ilhas e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