

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
GUILHERME BOTICCHIO  
LEONARDO ROSA DE CASTRO**

**SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA MECÂNICA  
EM ELÉTRICA PROPORCIONADO POR UM  
AEROGERADOR**

**Taubaté - SP  
2018**

**GUILHERME BOTICCHIO  
LEONARDO ROSA DE CASTRO**

**SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA MECÂNICA  
EM ELÉTRICA PROPORCIONADO POR UM  
AEROGERADOR**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Bacharel em  
Engenharia Aeronáutica do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia  
Aeronáutica.

Orientador: Prof. Me. Pedro Marcelo Alves  
Ferreira Pinto

**Taubaté - SP  
2018**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UnitaU - Biblioteca das Engenharias**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

B749s Boticchio, Guilherme  
Sistema de conversão de energia mecânica em elétrica proporcionado  
por um aerogerador / Guilherme Boticchio; Leonardo Rosa de Castro. --  
2018.  
48 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Me. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto, Departamento  
de Engenharia Mecânica.

1. Aerogerador. 2. Aeronáutica. 3. Aeronaves. 4. Conversão de  
energia. 5. Energia alternativa. I. Título. II. Castro, Leonardo Rosa de. III.  
Graduação em Engenharia Aeronáutica.

CDD – 333.92

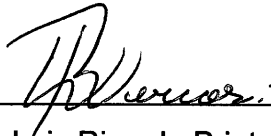
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**GUILHERME BOTICCHIO  
LEONARDO ROSA DE CASTRO**

**SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA MECÂNICA EM ELÉTRICA  
PROPORCIONADO POR UM AEROGERADOR**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
ENGENHARIA AERONÁUTICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

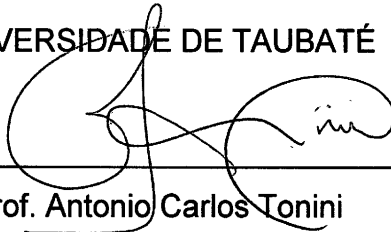
Prof. Me. Luiz Ricardo Prieto Hercos  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Me. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Antonio Carlos Tonini  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Taubaté, 19 de novembro de 2018

## ***DEDICATÓRIA***

Dedico este trabalho a Deus, que tornou este sonho em realidade, dedico também aos meus pais, Clovis Boticchio e Cristiane Ferrazzi Boticchio, que me auxiliaram e me incentivaram em tudo o que me foi necessário, agradeço também aos meus irmãos, engenheiro Victor Boticchio Neto, e Rafael Boticchio, e aos meus avós, Pedro Ferrazzi Molon e Gilda Pavan Ferrazzi.  
(Guilherme Boticchio)

Dedico este trabalho, primeiramente, à Deus que me deu força para vencer todas as dificuldades. Ao meu pai José Dimas de Castro Santos (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento. À minha mãe Maria Aparecida Rosas de Castro, que não mediu esforços para me dar todo tipo de apoio, e é minha maior força e inspiração. Também a minha namorada Ana Karen, que esteve comigo em todos os momentos.  
(Leonardo Rosa de Castro)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por nossa vida, saúde, inteligência e força para vencer os obstáculos que enfrentamos ao longo do curso.

Aos nossos pais que estiveram conosco, nos ajudando e incentivando para crescermos a cada dia como pessoa e profissional.

Aos nossos familiares, amigos e a equipe *Aerotau Aerodesign* que disponibilizaram tempo e recursos para nos apoiarem.

Ao nosso orientador, Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto e aos demais professores do curso de Engenharia Aeronáutica por todo o conhecimento transmitido e motivação

A Universidade de Taubaté que proporcionou nossa graduação para deslumbrarmos um futuro promissor.

A cidade de Taubaté que nos acolheu no decorrer de todo curso.

E a todas as pessoas que indiretamente fizeram parte de nossa formação, o nosso agradecimento.

## ***EPÍGRAFE***

"Assim corro também eu, não sem meta; assim luto, não  
como desferindo golpes no ar"  
(1 CORÍNTIOS 9:26 ARA)

"Os obstáculos são essas coisas assustadoras que você  
vê quando desvia os olhos da sua meta"  
(HENRY FORD)

## RESUMO

Um Aerogerador consiste em um equipamento capaz de transformar energia eólica em energia elétrica através do eixo do cata-vento integrado a um gerador. Partindo de fonte renovável e com absoluta tendência em um futuro próximo, o aerogerador vem a ser uma alternativa no mercado, visando a política sustentável e rentável. O sistema desenvolvido tem a finalidade de encontrar soluções práticas para a aplicação em diversas áreas, visando principalmente a otimização de motores elétricos para uma maior autonomia. A manufatura dos componentes do projeto dependerá de uma impressora 3D, para a realização dos testes será utilizado um túnel de vento onde o escoamento irá girar as aletas, a transformação de energia mecânica para elétrica será feita por um dínamo, em seguida será mensurada a tensão de saída e analisado o resultado. Com este trabalho é pretendido conferir a viabilidade de aplicar esta tecnologia em áreas que existem grande consumo de energia e se o movimento gerado é o suficiente para atender toda a parte elétrica de algum determinado sistema, além de verificar a possibilidade de uso em aeronaves de pequeno porte a partir da construção de um protótipo.

**Palavras-chave:** Aerogerador. Aeronáutica. Aeronaves. Energia alternativa. Conversão de energia.



## **ABSTRACT**

A wind turbine consists of an equipment capable of transforming wind energy into electricity through the axis of the vane integrated into a generator. Starting from a renewable source and with absolute tendency in the near future, the wind generator is an alternative in the market, aiming at a sustainable and profitable policy. The developed system has the purpose of finding practical solutions for the application in several areas, mainly aiming at the optimization of electric engines for a greater autonomy. The manufacture of the project's components will depend on a 3D printer, to perform the tests a wind tunnel will be used, where the flow will rotate the fins. The transformation from mechanical to electrical energy will be done by a dynamo, then the voltage output will be measured, and the result analyzed. This work it is intended to check the viability of applying this technology in areas where there is high energy consumption, and if the movement generated is enough to supply all the electrical part in a certain system, besides verifying the possible use in small aircraft from the construction of a prototype.

**KEYWORDS:** Wind turbine, Aeronautics, Aircraft, Alternative energy, Energy conversion.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> - Aerogeradores de Eixo Horizontal .....                             | 20 |
| <b>Figura 2</b> - Aerogerador de Eixo Vertical .....                                 | 21 |
| <b>Figura 3</b> - Componentes do Sistema Geral .....                                 | 22 |
| <b>Figura 4</b> - Rotor com Três Pás .....   | 23 |
| <b>Figura 5</b> - Cabine ou Nacelle .....  | 24 |
| <b>Figura 6</b> - Ambos Modelos de Torre de Suporte .....                            | 25 |
| <b>Figura 7</b> - Fontes de Energia Elétrica de uma Aeronave .....                   | 25 |
| <b>Figura 8</b> - Circuito das Luzes de Posição .....                                | 27 |
| <b>Figura 9</b> - Voltagem das Luzes da Aeronave .....                               | 27 |
| <b>Figura 10</b> - Protótipo Oficial do Aerogerador .....                            | 28 |
| <b>Figura 11</b> - Eixo Principal + Aletas .....                                     | 29 |
| <b>Figura 12</b> - Direcionador de Fluxo .....                                       | 30 |
| <b>Figura 13</b> - Base Fixa + Mancais .....   | 31 |
| <b>Figura 14</b> - Motor Dínamo 24V + Suporte do Motor .....                         | 31 |
| <b>Figura 15</b> - Multímetro .....  | 32 |
| <b>Figura 16</b> - Anemômetro .....  | 33 |
| <b>Figura 17</b> - Motor Dínamo 24V .....  | 33 |
| <b>Figura 18</b> - Placa Eletrônica .....  | 34 |
| <b>Figura 19</b> - Sistema em Funcionamento (Sem Rampa) .....                        | 36 |
| <b>Figura 20</b> - Smartphone sendo Carregado por Meio do Sistema Desenvolvido ..... | 37 |
| <b>Figura 21</b> - 6 Aletas com Rampa .....  | 38 |
| <b>Figura 22</b> - 3 Aletas com Rampa .....  | 39 |
| <b>Figura 23</b> - 2 Aletas com Rampa .....  | 40 |
| <b>Figura 24</b> - 6 Aletas sem Rampa .....  | 41 |
| <b>Figura 25</b> - 3 Aletas sem Rampa .....  | 42 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> - 6 Aletas com Rampa .....  | 38 |
| <b>Tabela 2</b> - 6 Aletas com Rampa .....  | 38 |
| <b>Tabela 3</b> - 3 Aletas com Rampa .....  | 39 |
| <b>Tabela 4</b> - 3 Aletas com Rampa .....  | 39 |
| <b>Tabela 5</b> - 2 Aletas com Rampa .....  | 40 |
| <b>Tabela 6</b> - 2 Aletas com Rampa .....  | 40 |
| <b>Tabela 7</b> - 6 Aletas sem Rampa .....  | 41 |
| <b>Tabela 8</b> - 6 Aletas sem Rampa .....  | 42 |
| <b>Tabela 9</b> - 3 Aletas sem Rampa .....  | 42 |
| <b>Tabela 10</b> - 3 Aletas sem Rampa ..... | 42 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |  |
|------|--|
| MHD  | Gerador de Energia Magneto-Hidrodinâmico |
| HAWT | <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>      |
| VAWT | <i>Vertical Axis Wind Turbine</i>        |
| OEM  | <i>Original Equipment Manufacturer</i>   |
| DC   | <i>Direct Current</i>                    |

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                           | 14 |
| 1.1   | Objetivos .....                           | 15 |
| 1.2   | Justificativa.....                        | 15 |
| 2     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                | 16 |
| 2.1   | Geração de Energia .....                  | 16 |
| 2.1.1 | Parâmetros Gerais .....                   | 16 |
| 2.1.2 | Conversor de Energia.....                 | 17 |
| 2.2   | Geradores Eólicos.....                    | 19 |
| 2.2.1 | Geradores Eólicos .....                   | 19 |
| 2.2.2 | Hawt (Horizontal Axis Wind Turbine) ..... | 20 |
| 2.2.3 | Vawt (Vertical Axis Wind Turbine) .....   | 21 |
| 2.2.4 | Componentes do Sistema Geral .....        | 22 |
| 2.3   | Sistemas Elétricos em Aeronaves.....      | 25 |
| 2.3.1 | Sistema de Ar Condicionado .....          | 25 |
| 2.3.2 | Sistemas de Entretenimento.....           | 26 |
| 2.3.3 | Sistemas de Iluminação.....               | 26 |
| 3     | METODOLOGIA.....                          | 28 |
| 3.1   | Desenvolvimento do Modelo .....           | 28 |
| 3.2   | Componentes do Sistema .....              | 29 |
| 3.3   | Fabricação dos Componentes .....          | 34 |
| 3.4   | Montagem e Funcionamento do Sistema ..... | 35 |
| 3.5   | Rotina de Ensaios .....                   | 35 |
| 3.6   | Calibração do Sistemas .....              | 36 |
| 3.7   | Coleta de Dados.....                      | 37 |
| 4     | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....              | 38 |
| 5     | CONCLUSÃO.....                            | 44 |
| 6     | SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS .....   | 45 |

|   |                   |    |
|---|-------------------|----|
| 7 | REFERÊNCIAS ..... | 46 |
|---|-------------------|----|

## 1 INTRODUÇÃO

Um enorme número coisas no mundo de hoje têm ligação com energia elétrica, é um bem que o ser humano não consegue viver distante, isso traz uma clara dependência que precisará ser cada vez mais otimizada e estudada para não pararmos no tempo (PEREIRA, 2004).

O seu diverso campo de utilizações gera inúmeros fatores nos quais o aprimoramento é essencial para se atualizar e inovar junto com o desenvolvimento mundial. Alguns desses fatores fundamentais para serem trabalhados partem de ideias como a busca incessante de evolução voltada para os agressores do meio ambiente, seu custo benefício influenciado diretamente pela inflação do país e o proveito de maneira eficaz de qualquer recurso que agilize na questão tempo e espaço (COMAT RELECO, 2018).

No mercado de trabalho esse tema também passou a ser veemente discutido pelas empresas, pois afeta de forma direta na margem de lucro e no progresso futuro. É um assunto atual e que rende muitos debates para se encontrar soluções inovadoras com custos menores a curto e longo prazo.

Com alguns desses princípios em jogo, fontes de energias renováveis passaram a ter um papel extremamente importante na sociedade contemporânea, mostrando que o uso de geradores de energia de origem natural é a marca do futuro. Contudo é necessário se realizar vários testes e experimentos para comprovar a eficiência dessas fontes naturais e tirar como conclusão que a mudança é benéfica em todos os aspectos (FILHO; CARDOSO, 2018).

Experimentos estes que serão avaliados neste trabalho com o conceito de transformação de energia eólica em energia elétrica. O projeto de um aerogerador capaz de gerar energia suficiente para carregar dispositivos móveis além de ser aplicado em outras extensões que necessitariam de uma grande quantidade de energia.

O aerogerador consiste em um instrumento que consegue captar a energia eólica através do eixo de um cata-vento integrado a determinado gerador, e conseqüentemente transformá-la em energia elétrica. Um processo totalmente renovável e que pode surgir como opção ao motor a combustão (TRADENER, 2018).

Na aviação geral atual é utilizado comumente motores a combustão como principal mecanismo de propulsão das aeronaves. Pesquisas apontam, que nas próximas décadas a utilização de motores 100% elétricos ou híbridos se tornará uma realidade. Devido à baixa, ou quase nula emissão de gases poluentes, baixa emissão de ruído e redução considerável de custos operacionais. Entretanto, o alto consumo energético que uma aeronave precisa para seu funcionamento diminui bastante a sua autonomia tornando a tecnologia ainda pouco viável para o mercado.

### 1.1 OBJETIVOS

Desenvolver um sistema de geração de energia elétrica a partir da transformação de energia mecânica gerada pela força do vento afim de possibilitar o carregamento de aparelhos eletrônicos por meio de um motor dínamo.

Outro ponto alto do trabalho apresentado será a capacidade de autonomia desse aerogerador voltada para projetos aeronáuticos, onde o motor ou algum equipamento incorporado a aeronave requeiram de grande energia no qual essa fonte suprirá o sistema ou componente em questão, deixando o consumo da bateria apenas para o motor propulsivo.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

O que justifica nosso trabalho em desenvolver tal sistema é a possibilidade de gerar energia elétrica através de força eólica e agregar praticidade no carregamento de dispositivos. Com essa verificação feita outro fator justificável é diminuir o consumo da bateria com elementos secundários como luzes, painéis digitais e eletrônicos.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA

#### 2.1.1 Parâmetros Gerais

A energia é geralmente definida como o equivalente ou a capacidade de fazer o trabalho. A palavra em si é derivada do grego *energeia*: *en*, “in”; *ergon*, “trabalho”. A energia pode ser associada a um corpo material, como uma mola em espiral ou um objeto em movimento, ou pode ser independente da matéria, como a luz e outras radiações eletromagnéticas atravessando um vácuo. A energia em um sistema pode estar disponível apenas parcialmente para uso. As dimensões da energia são aquelas do trabalho, que, na mecânica clássica, é definida formalmente como o produto da massa ( $m$ ) e o quadrado da razão do comprimento ( $l$ ) para o tempo ( $t$ ). Isso significa que quanto maior a massa ou a distância pela qual ela é movida ou menor o tempo necessário para mover a massa, maior será o trabalho realizado, ou maior será a energia gasta (RUSSELL et al., 2018).

Segundo o princípio de Lavoisier a energia não pode surgir do nada e nem pode ser destruída, a única maneira de se obter energia é a transformação de um determinado tipo em outro. Não há uma exata definição para energia, mas pode-se relacionar com a capacidade de movimento ou ação manifestada em várias formas diferentes, como calor, movimento de corpos e eletricidade (JÚNIOR, 2018).

As energias auxiliam o trabalho do homem, pois ajudam em inúmeros processos que são de extrema importância nas atividades humanas. Iluminar, movimentar máquinas em geral, levantar peso, mover veículos, são algumas das essenciais contribuições de energia por todo o planeta.

Os seres humanos, para o desenvolvimento de suas atividades, necessitam efetivamente dos recursos naturais, as fontes energéticas não são diferentes, dessa forma elas podem ser classificadas em dois tipos: fontes renováveis e não-renováveis.

A primeira corresponde a todo recurso que tem a capacidade de se refazer, ou seja, não é limitada, nessas destacam os biocombustíveis, hidrelétricas, energia solar, eólica entre outras.

As fontes não-renováveis correspondem a todo recurso natural que não tem capacidade de se renovar ou refazer, ou seja, que podem acabar (finitos). Dentre os

recursos finitos com previsões para esgotar totalmente em pequeno, médio e longo prazo estão o petróleo, carvão, urânio, xisto e muitos outros (FRANCISCO, 2018).

### **2.1.2 Conversor de Energia**

Para Russell et al. (2018) falando de conversão de energia pode-se dizer que ela parte da transformação da energia de formas fornecidas pela natureza para formas que podem ser usadas pelos humanos.

Ao longo dos séculos, uma ampla gama de dispositivos e sistemas foi desenvolvida para esse fim. Alguns desses conversores de energia são bastante simples. Os primeiros moinhos de vento, por exemplo, transformaram a energia cinética do vento em energia mecânica para bombear água e moer grãos. Outros sistemas de conversão de energia são decididamente mais complexos, particularmente aqueles que tomam energia bruta de combustíveis fósseis e combustíveis nucleares para gerar energia elétrica. Sistemas deste tipo requerem múltiplas etapas ou processos nos quais a energia sofre toda uma série de transformações através de várias formas intermediárias.

Muitos dos conversores de energia hoje amplamente utilizados envolvem a transformação de energia térmica em energia elétrica. A eficiência de tais sistemas está, no entanto, sujeita a limitações fundamentais, conforme ditado pelas leis da termodinâmica e outros princípios científicos. Nos últimos anos, uma atenção considerável tem sido dedicada a certos dispositivos de conversão de energia direta, notadamente células solares e células de combustível, que contornam a etapa intermediária de conversão em energia térmica na geração de energia elétrica.

A maioria desses conversores de energia, às vezes chamados de dispositivos de conversão de energia estática, usam elétrons como seu “fluido de trabalho” no lugar do vapor ou gás empregado por motores térmicos dinâmicos como os motores de combustão externa e de combustão interna mencionados acima. Nos últimos anos, os dispositivos de conversão direta de energia têm recebido muita atenção devido à necessidade de desenvolver formas mais eficientes de transformar as formas disponíveis de energia primária em energia elétrica. Quatro desses dispositivos - a bateria, a célula de combustível, o gerador termoelétrico (ou pelo menos seu princípio de funcionamento) e a célula solar - tinham suas origens no início do século XIX.

**Bateria:** inventada pelo físico italiano Alessandro Volta por volta de 1800, transforma energia química diretamente em corrente elétrica. Um dispositivo deste tipo tem dois eletrodos, cada um dos quais é feito de um produto químico diferente. Quando ocorrem reações químicas, os elétrons são liberados no eletrodo negativo e passam a fluir através de um circuito externo para o eletrodo positivo. O processo continua até que o circuito seja interrompido ou um dos reagentes esteja esgotado. Os precursores da moderna célula seca e da bateria de armazenamento de chumbo-ácido surgiram durante a segunda metade do século XIX.

**Célula de combustível:** outro produtor eletroquímico de eletricidade, foi desenvolvida por William Robert Grove, físico britânico, em 1839. Em uma célula de combustível, a operação contínua é obtida alimentando-se combustível (hidrogênio) e um oxidante (oxigênio). remover os produtos da reação.

**Geradores termoeletrônicos:** são dispositivos que convertem calor diretamente em eletricidade. A corrente elétrica é gerada quando os elétrons são acionados por energia térmica através de uma diferença de potencial na junção de dois condutores feitos de materiais diferentes. Este efeito foi descoberto por Thomas Johann Seebeck, um físico alemão, em 1821. Seebeck observou que uma agulha de bússola perto de um circuito feito de diferentes materiais condutores era defletida quando uma das junções era aquecida. Ele investigou vários materiais que produzem energia elétrica com uma eficiência de 3%. Essa eficiência foi comparável à dos motores a vapor do dia. No entanto, o significado da descoberta do efeito termoeletrônico não foi reconhecido como um meio de produzir eletricidade por causa da má interpretação de Seebeck do fenômeno como um efeito magnético causado por uma diferença na temperatura. Uma teoria básica da termoeletricidade foi finalmente formulada no início de 1900, embora nenhum gerador funcional tenha sido desenvolvido até muito mais tarde.

**Célula solar:** energia radiante impulsiona elétrons através de uma diferença de potencial em uma junção de semicondutor na qual as concentrações de impurezas são diferentes nos dois lados da junção. O que muitas vezes é considerado a primeira célula solar genuína foi construída no final de 1800 por Charles Fritts, que usava junções formadas pelo revestimento de selênio (um semicondutor) com uma camada extremamente fina de ouro.

Outras tecnologias de conversão também ganham destaque. Os requisitos de energia para veículos espaciais levaram a uma investigação intensiva, a partir de

1955, de todas as fontes de energia possíveis. Dispositivos de conversão direta de energia são de interesse para fornecer energia elétrica em espaçonaves devido à sua confiabilidade e à falta de partes móveis. Assim como as células solares, as células de combustível e os geradores termoelétricos, os conversores de potência termiônicos têm recebido atenção considerável para aplicações espaciais. Os geradores termiônicos são projetados para converter energia térmica diretamente em eletricidade. A energia térmica requerida pode ser fornecida por fontes químicas, solares ou nucleares, sendo esta última a escolha preferida para as unidades experimentais atuais.

Outro conversor de energia direta com potencial considerável é o gerador de energia magneto-hidrodinâmico (MHD). Este sistema produz eletricidade diretamente de um fluido eletricamente condutivo de alta temperatura e alta pressão - geralmente um gás ionizado - movendo-se através de um campo magnético forte. O fluido quente pode ser derivado da combustão de carvão ou outro combustível fóssil. O primeiro gerador MHD bem-sucedido foi construído e testado durante a década de 1950. Desde então, os esforços desenvolvimentistas progrediram de forma constante, culminando em um projeto russo para construir uma usina de energia MHD na cidade de Ryazan, localizada a cerca de 180 quilômetros ao sudeste de Moscou.

## 2.2 GERADORES EÓLICOS

### 2.2.1 Geradores Eólicos

As turbinas eólicas operam em um princípio simples. A energia do vento gira algumas lâminas (normalmente 2 ou 3) semelhantes a hélices em torno de um rotor. O rotor é conectado ao eixo principal, que gira um gerador para gerar eletricidade (WENZEL, 2007).

Então, em termos simples, uma turbina eólica funciona como o oposto de um ventilador. Em vez de usar eletricidade para fazer vento, como um ventilador, as turbinas eólicas usam o vento para produzir eletricidade. O vento gira as pás, que giram um eixo, que se conecta a um gerador e produz eletricidade.

Os termos energia eólica descrevem o processo pelo qual o vento é usado para gerar energia mecânica ou elétrica. As turbinas eólicas convertem a energia cinética

do vento em energia mecânica. Essa energia mecânica então é convertida em energia elétrica.

Conforme Almeida (2011) modernas turbinas eólicas se dividem em dois grupos básicos: A *HAWT* (*Horizontal Axis Wind Turbine*) e a *VAWT* (*Vertical Axis Wind Turbine*).

### 2.2.2 Hawt (Horizontal Axis Wind Turbine)

A turbina eólica de eixo horizontal como mostra a Figura 1, domina a maior parte da indústria eólica. Eixo horizontal significa que o eixo de rotação da turbina eólica é horizontal ou paralelo ao solo. Na grande aplicação do vento, as turbinas eólicas de eixo horizontal são as mais comuns de se encontrar. No entanto, em pequenas aplicações eólicas e residenciais, as turbinas de eixo vertical têm seu lugar. A vantagem do vento horizontal é que ele é capaz de produzir mais eletricidade a partir de uma determinada quantidade de vento. Então se for solicitado a maior quantidade de vento constantemente, o eixo horizontal é a melhor opção. A desvantagem do eixo horizontal, no entanto, é que geralmente é mais pesado e não produz bem em ventos turbulentos (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

**Figura 1** - Aerogeradores de Eixo Horizontal

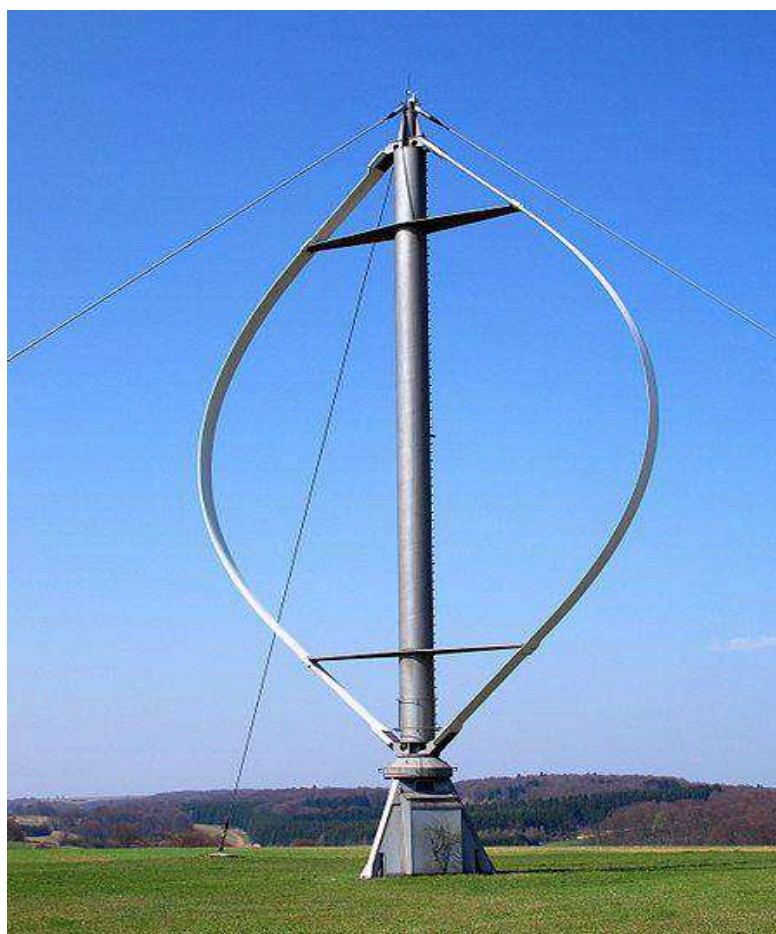


**Fonte:** Brasil Econômico (2018)

### 2.2.3 Vawt (Vertical Axis Wind Turbine)

Com turbinas eólicas de eixo vertical (Figura 2), o eixo de rotação da turbina fica vertical ou perpendicular ao solo. As turbinas de eixos verticais são usadas principalmente em pequenos projetos eólicos e aplicações residenciais. Turbina eólica de eixo vertical, este nicho vem das afirmações do OEM de uma turbina de eixo vertical com capacidade de produzir bem em condições de vento turbulento. As turbinas de eixo vertical são movidas pelo vento vindo de todos os 360 graus, e até mesmo algumas turbinas são acionadas quando o vento sopra de cima para baixo. Devido a esta versatilidade, pensa-se que as turbinas eólicas de eixo vertical são ideais para instalações onde as condições de vento não são consistentes, ou devido a ordenanças públicas a turbina não pode ser colocada alta o suficiente para se beneficiar de vento constante (DVORAK, 2018).

**Figura 2 - Aerogerador de Eixo Vertical**



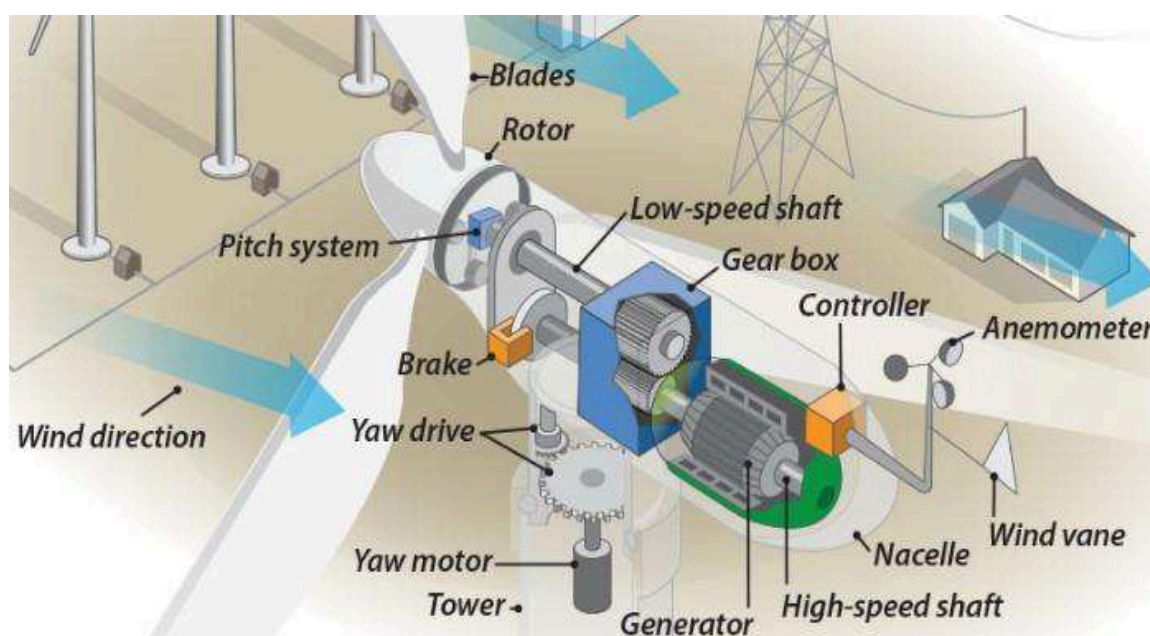
**Fonte:** Evolução da Tecnologia AALP (2018)

## 2.2.4 Componentes do Sistema Geral

Segundo Castro (2005, p. 58) os moinhos eólicos, ou aerogeradores, são constituídos por vários componentes como apresenta a Figura 3, mas o sistema basicamente se divide em 3 partes:

- Um rotor, ao qual estão acopladas as hélices ou pás,
- Uma cabine ou *nacelle*, que aloja diversos outros componentes;
- Uma torre, responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura adequada.

**Figura 3** - Componentes do Sistema Geral



Fonte: Portal Energia (2018)

As hélices que fazem união ao rotor têm suas formas e ângulos de ataque vindo diretamente do conhecimento na área de aerodinâmica, o que resulta em um efeito no qual se busca melhorar o escoamento e tem um funcionamento semelhante as asas de aeronaves (PORTAL ENERGIA, 2018).

O rotor pode possuir dois tipos de posicionamento, referente a superfície de ataque do vento incidente nas hélices. A configuração *upwind* e a *downwind* tem suas qualidades, porém a primeira que recebe o vento de frente é a mais usual, já a segunda que o vento ataca as pás por trás possui uma deficiência notória, pois o escoamento é atrapalhado pela torre.



O número de pás se relaciona com a eficiência do aerogerador. Há uma melhoria quando se passa de três para duas pás, porém com a adição de hélices começa uma perda progressiva de eficácia. Assim o rotor com três hélices (Figura 4) é o mais usado, e até mesmo o com duas hélices tem seus benefícios quando se coloca em questão peso e custo.

**Figura 4 - Rotor com Três Pás**



**Fonte:** Portal Energia (2018)

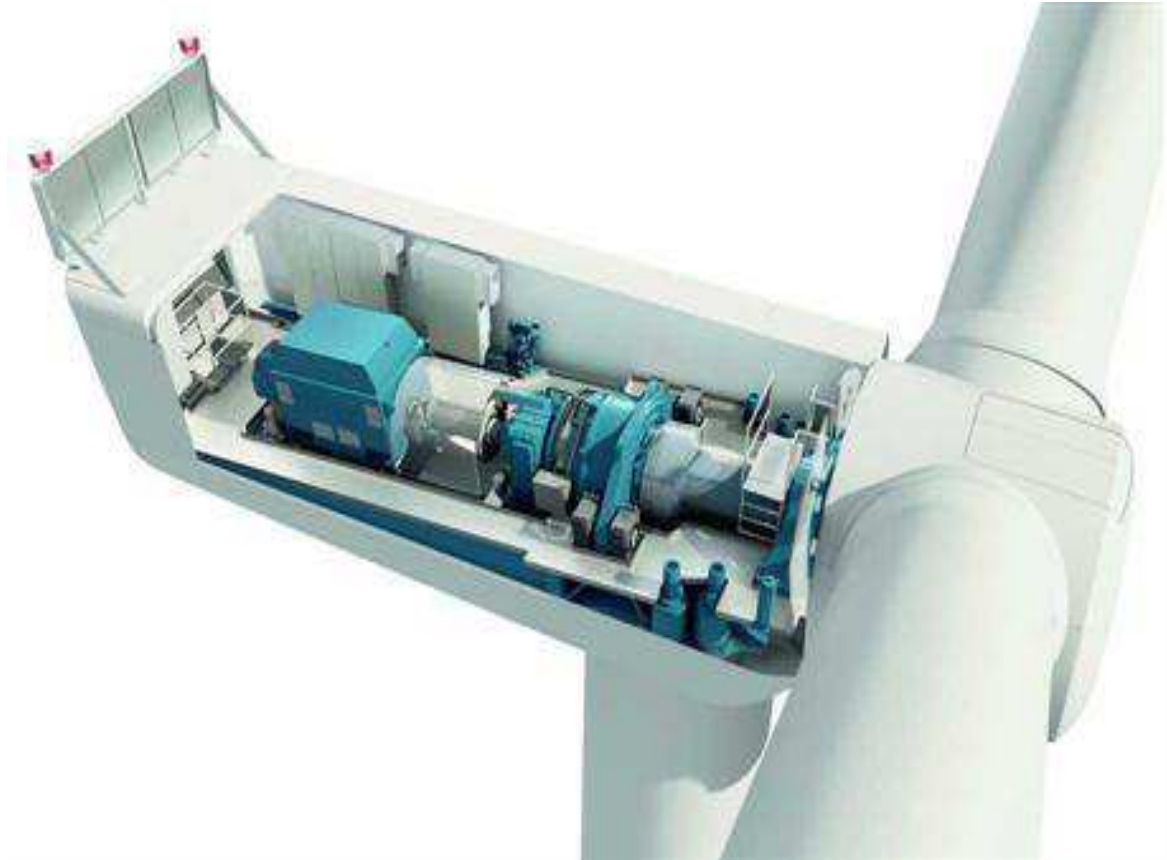
Dentro da cabine (Figura 5), é possível encontrar dois eixos (principal e do gerador), existindo entre eles um conjunto de engrenagens a que se dá o nome de multiplicador. O eixo do gerador, tal como o seu nome indica, está acoplado ao gerador, sendo este o componente responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica (EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA AALP, 2018).

Ainda existe um computador no interior de cada cabine, designado por controlador eletrônico, responsável pelo funcionamento do gerador, pelo sistema aerodinâmico, entre outros dispositivos.



Outro componente presente na *nacelle* é o mecanismo de orientação direcional que tem seu funcionamento ligado a um sensor de direção para que o rotor e as hélices sejam apontados adequadamente para o vento.

**Figura 5** - Cabine ou *Nacelle*



**Fonte:** Wind Power (2018)

A torre é o suporte que sustenta a cabine e eleva o rotor com as hélices à uma altura conveniente para não ocorrer perturbações vindas da proximidade do solo.

Os modelos mais comuns de torre são dois, como mostra a Figura 6: o primeiro e normalmente com mais adesões é o tubular que proporciona uma maior segurança para a realização de manutenção, pois seu acesso é pelo interior da tubulação. Já o modelo entrelaçado se destaca pelo menor custo, mais tem sido deixado de lado devido ao efeito de impacto visual.

**Figura 6 - Ambos Modelos de Torre de Suporte**



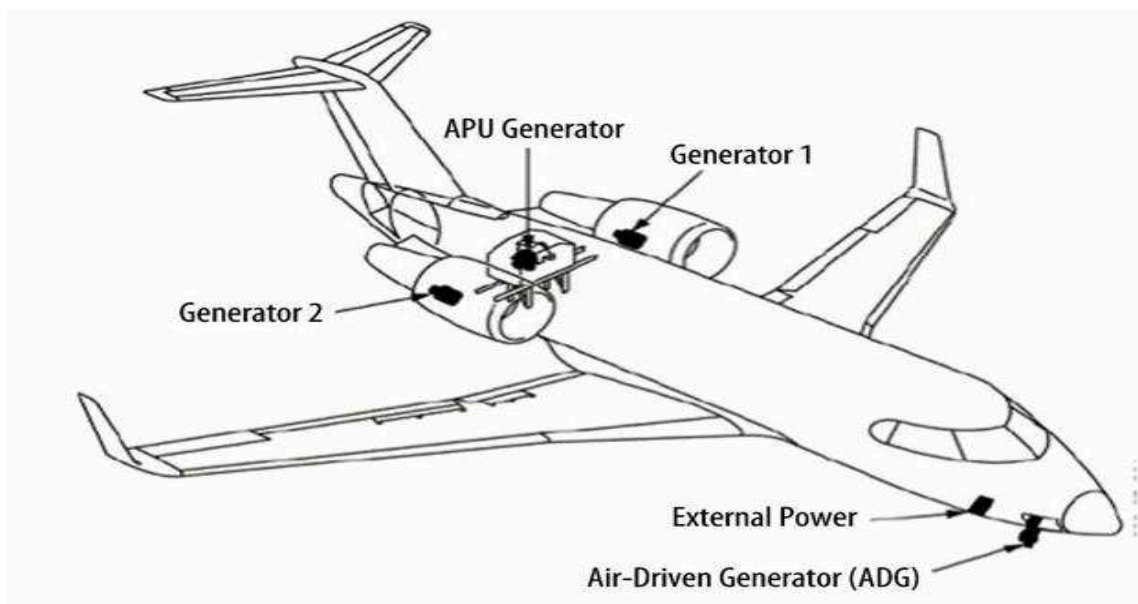
**Fonte:** Portal Energia (2018)

## 2.3 SISTEMAS ELÉTRICOS EM AERONAVES

### 2.3.1 Sistema de Ar Condicionado

A Figura 7 mostra onde estão localizadas as fontes de energia em uma aeronave.

**Figura 7 - Fontes de Energia Elétrica de uma Aeronave**



**Fonte:** Hangar 33 (2018)

Os sistemas de ar condicionado criam um ambiente confortável e seguro para passageiros e tripulação na cabina da aeronave. É um sistema que processa a alta pressão e a alta temperatura do ar que é captado ou "vazado" dos motores da aeronave durante a maior parte do tempo.

A parte principal do sistema é composta por pacotes de ar condicionado baseados nas máquinas de ciclo de ar com rolamentos de ar fornecendo maior confiabilidade. Estas máquinas de ciclo de ar podem ser acionadas de forma pneumática, elétrica ou mecânica. Vários componentes como trocadores de calor, reaquecedores, condensadores, extratores de água, válvulas de controle de vazão, sensores ou controladores, também fazem parte do sistema. (AERO EXPO, 2018).

### **2.3.2 Sistemas de Entretenimento**

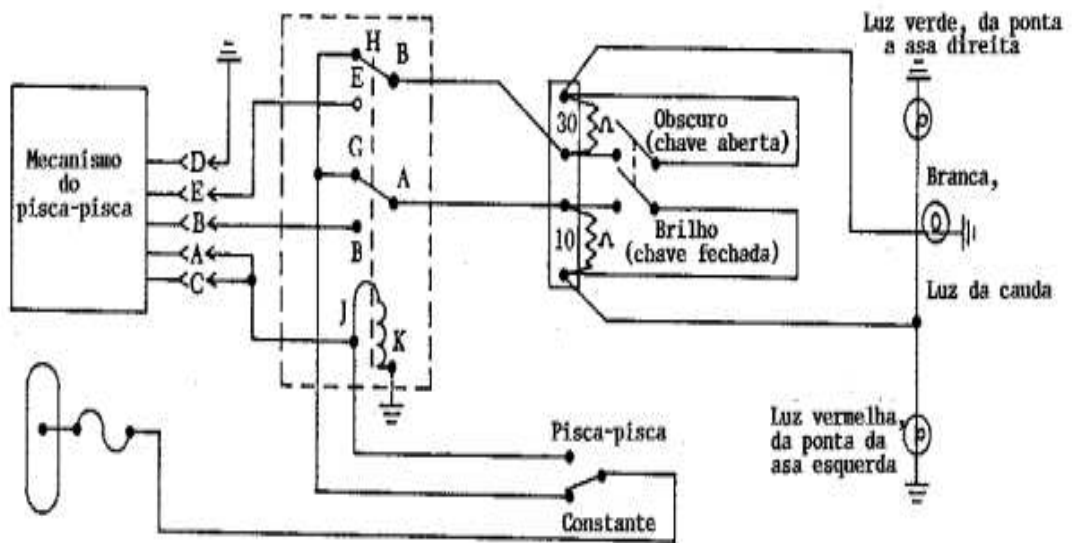
Os sistemas de entretenimento das aeronaves têm como objetivo justamente entreter os passageiros durante o voo, tornando as viagens mais confortáveis e prazerosas. Alguns exemplos de sistemas de entretenimento são: tela multimídia, músicas, filmes, jogos entre outros, e todos estes sistemas são alimentados com a energia elétrica fornecida pelos motores da aeronave.

O sistema DC (corrente contínua) de aeronaves é parecido com o sistema dos carros, porém os carros usam 12VDC e os aviões usam 28VDC. O sistema DC é usado para alimentar as telas dos instrumentos, os computadores e o sistema *Fly-By-Wire*.

### **2.3.3 Sistemas de Iluminação**

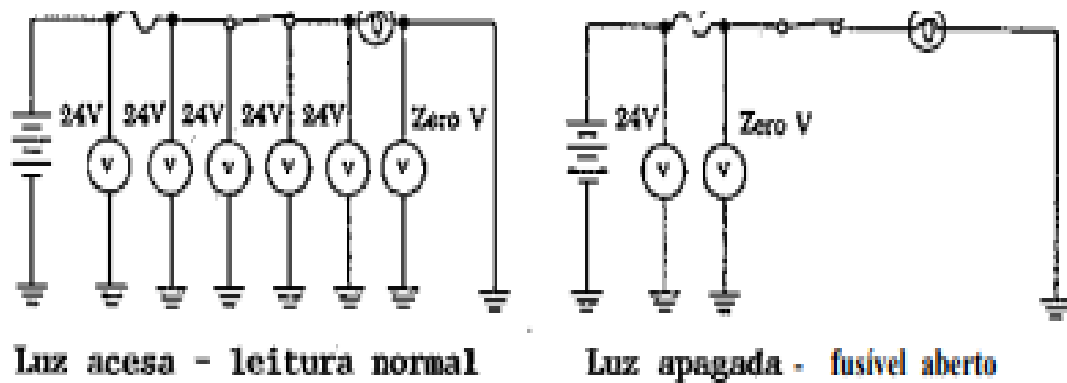
De acordo com Carvalho (2018, p. 95) os sistemas de iluminação de aeronaves fornecem iluminação para uso externo e interno. As luzes da parte externa proporcionam iluminação para tais operações como pousos noturnos, inspeção das formações de gelo e segurança, para evitar colisão das aeronaves em voo. A iluminação interna fornece iluminação para os instrumentos, cabine de comando, cabines e outras seções ocupadas pela tripulação e passageiros. Certas luzes especiais, tais como luzes indicadoras e de aviso, indicam a situação operacional do equipamento. As Figuras 8 e 9 a seguir explicam todo o sistema.

**Figura 8 - Circuito das Luzes de Posição**



Fonte: Carvalho (2018, p.97)

**Figura 9 - Voltagem das Luzes da Aeronave**



Fonte: Carvalho (2018, p.109)

### 3 METODOLOGIA

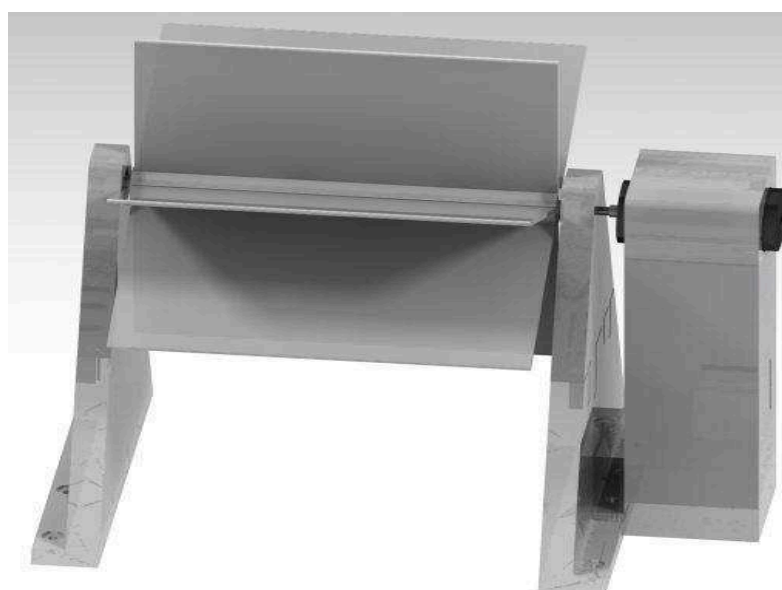
#### 3.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Neste capítulo será apresentado como foi o processo detalhado de desenvolvimento do modelo de aerogerador proposto. O projeto foi baseado na configuração atual *Hawt* (modelo de aerogerador com eixo horizontal) e tem por finalidade gerar energia elétrica suficiente para alimentar determinados sistemas capazes de portá-lo.

Na condição de simular o ambiente em que o projeto do aerogerador irá funcionar, é preciso que o modelo se depare com um escoamento a determinada velocidade, capaz de vencer a inércia de suas pás, assim rotacionando tal conjunto para que haja a conversão de energia mecânica em energia elétrica. Uma maneira de se obter esse real cenário é a adaptação do projeto junto a um túnel de vento, mas não dentro deste, e sim após sua extensão, onde seu escoamento sairá direto em encontro com o aerogerador.

Com a escolha definida do ambiente de simulação, pode-se tirar parâmetros como altura, comprimento e largura para realizar o desenho do protótipo. Afim de viabilizar o projeto como um todo, foi utilizado o software CATIA para traçar de modo eficaz, assim atingindo um detalhamento que fosse ideal, conforme apresenta a Figura 10.

**Figura 10** - Protótipo Oficial do Aerogerador



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

### 3.2 COMPONENTES DO SISTEMA

O aerogerador foi construído pensando na eficiência que poderia apresentar com a variação da quantidade de pás, podendo assim ter um embasamento maior e conhecer qual configuração atenderia melhor o projeto em geral. Sabendo que o modelo com três hélices apresenta ganhos em relação ao com somente duas, pode-se presumir que um maior número de pás é benéfico, porém a partir da terceira hélice acoplada, começa a ocorrer perdas (CASTRO, 2005).

Com esses conceitos aplicados desenvolveu-se um eixo que traria aletas removíveis (Figura 11), desse modo conseguindo variar formatos e encontrar aquele com o melhor desempenho.

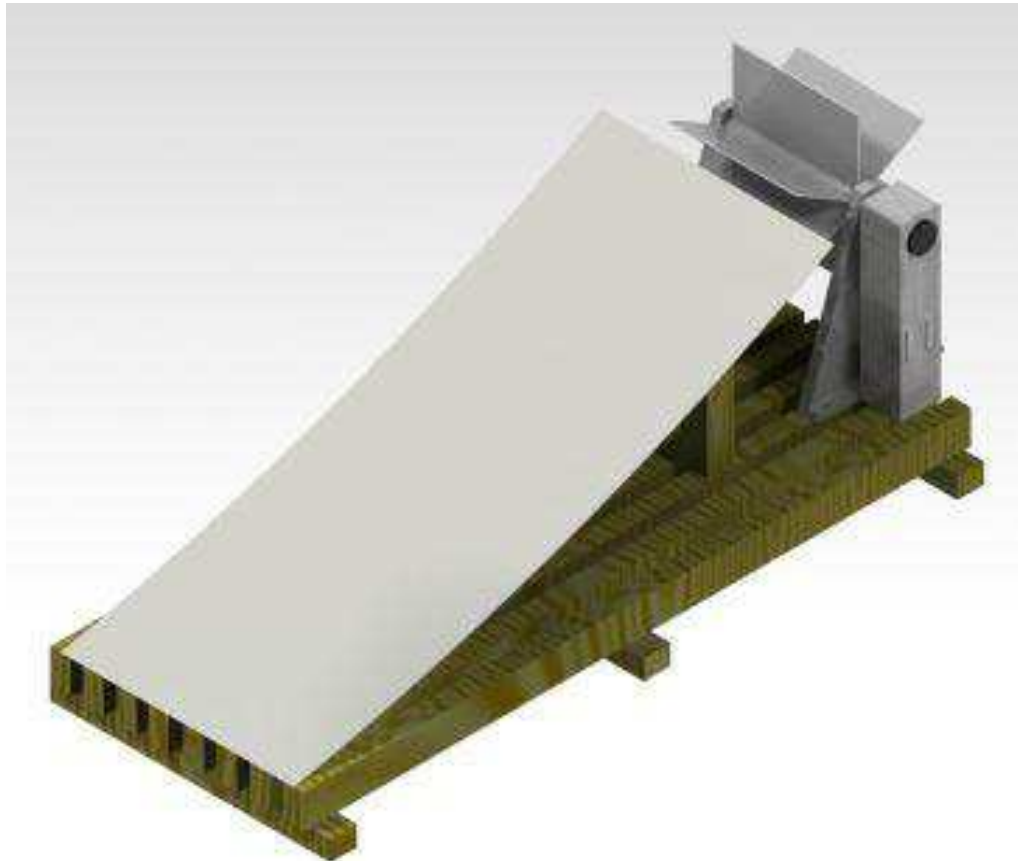
**Figura 11** - Eixo Principal + Aletas



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Para que o escoamento referido chegue até o aerogerador de forma mais limpa e linear foi adicionado um direcionador de fluxo (Figura 12), que levaria o fluido próximo às pontas das aletas, minimizando a dissipação do ar.

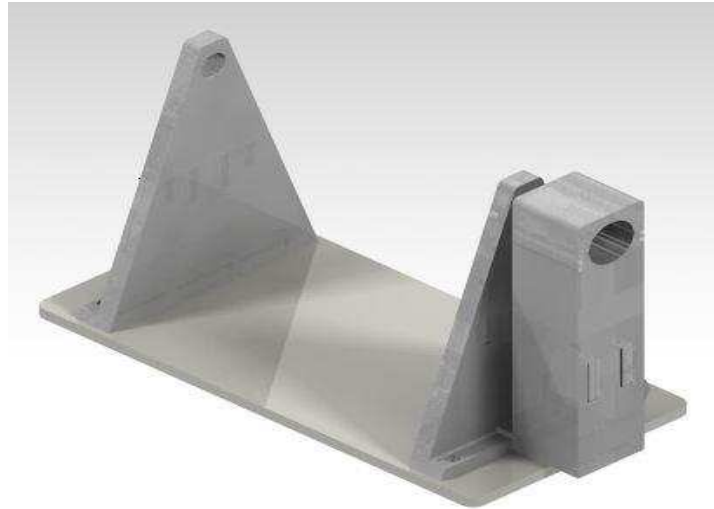
**Figura 12 - Direcionador de Fluxo**



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

O modelo de aerogerador desenvolvido precisava de uma certa robustez para suportar a alta pressão que lhe seria exercida, portanto foram instalados mancais e uma base fixa rígida que teria a função de travar e impedir o movimento lateral ou longitudinal do aparato, como é mostrado na Figura 13.

**Figura 13 - Base Fixa + Mancais**



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

A conversão de energia mecânica para elétrica seria proporcionada através de um motor dínamo (inicialmente de 24 Volts), o qual estaria suspenso por um suporte, estabelecendo sua união ao eixo do cata-vento por um conector neutro, como é visto na Figura 14.

**Figura 14 - Motor Dínamo 24V + Suporte do Motor**



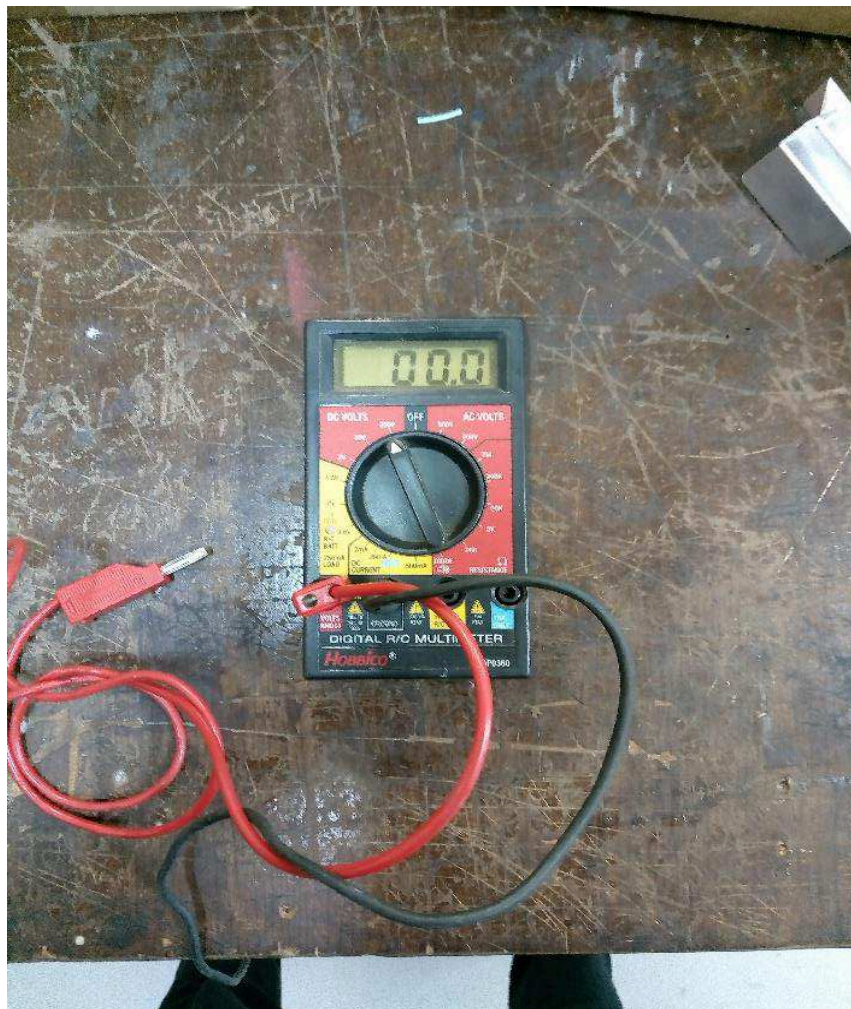
**Fonte:** Elaborado pelo Autor



Além do projeto em si do aerogerador, outros componentes independentes eram essenciais para que se conseguisse sucesso no experimento, tendo um funcionamento simples e colhendo os dados que identificariam sua performance.

Foram utilizados um multímetro (Figura 15) para a medição da tensão adquirida, um anemômetro (Figura 16) para mensurar a velocidade proveniente da saída de ar do túnel de vento, um motor dínamo de 24 volts (Figura 17), para fazer toda a conversão de energia mecânica em elétrica e uma placa eletrônica (Figura 18) com a finalidade de estabilizar a tensão de saída em 5 volts, suficiente para carregar um celular.

**Figura 15 - Multímetro**



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

**Figura 16 - Anemômetro**



Fonte: Elaborado pelo Autor

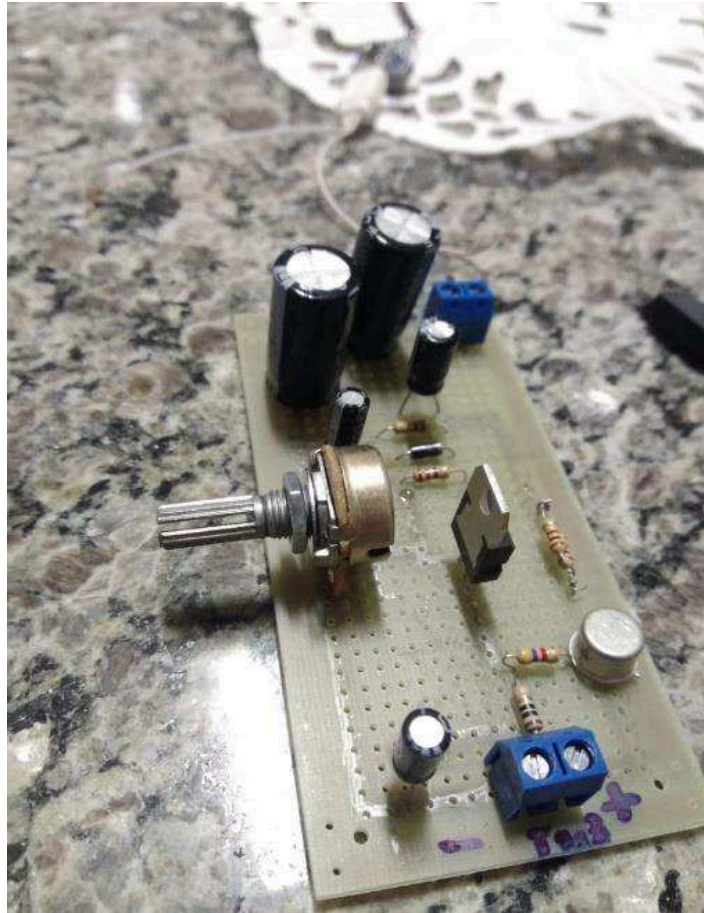
**Figura 17 - Motor Dínamo 24V**



Fonte: Elaborado pelo Autor



**Figura 18 - Placa Eletrônica**



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

### 3.3 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES

Com o intuito de otimizar e manter fidedigno o desenho do software, a fabricação dos componentes foi dividida em duas etapas.

A primeira, com as peças mais elaboradas e de difícil confecção como o eixo do cata-vento e as aletas, optou-se por produzir em impressora 3D. Essa produção precisou ser terceirizada e foi toda impressa em material do tipo termoplástico ABS.

Componentes com facilidade de manufatura constituíram a segunda etapa de fabricação. A base fixa, os mancais, o suporte do motor e o direcionador de fluxo de ar foram feitos todos manualmente, utilizando madeira como único material aplicado.

O restante dos componentes utilizados para o experimento, como o motor dínamo e a placa de circuitos foram adquiridos de maneira particular pelos idealizadores do projeto.

### 3.4 MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A etapa de montagem foi relativamente simples, visto que, com os componentes feitos sob medida, a união de todas as partes era prática e rápida. O ponto considerado mais trabalhoso, foi a fixação do modelo atrás do túnel, já que era necessário achar altura e posição adequadas para medição da velocidade com mais convicção.

Tendo as posições principais fixadas, montou-se o sistema:

- Prendeu-se a base fixa e os mancais;
- Foi colocado o eixo em conjunto com as aletas;
- Montou-se o suporte do motor com o mesmo acima;
- Foi feito a união do eixo do motor ao eixo do cata-vento por meio de um conector;
- Ligou-se a placa de circuitos ao multímetro;
- Conectou-se por entrada padrão um dispositivo eletrônico ao sistema elétrico.

Após todo o processo de montagem finalizado, o experimento estava apto a ser testado. Ao se ligar o túnel de vento, o escoamento que era jogado para fora se encontrava direto com o direcionador de fluxo, este levava o ar até as aletas e uma energia mecânica era criada. Consequentemente o motor dínamo transformava essa energia mecânica em energia elétrica, criando uma fonte autossuficiente, finalizando no carregamento do dispositivo eletrônico.

### 3.5 ROTINA DE ENSAIOS

As baterias de ensaio se iniciaram com o maior número de aletas possíveis, máximo de seis. Porém fazia-se em torno de três a cinco testes e alterava-se o número das mesmas. Com três e duas aletas foram os testes respectivamente seguintes ensaiados.

Outro ponto modificado durante a realização dos testes foi a retirada da rampa de direcionamento de fluxo (Figura 19), deixando o aerogerador mais próximo da fonte do escoamento. A solução encontrada para que isso viesse a acontecer, foi fixar o protótipo nas estruturas do túnel de vento, e afim de orientar ainda mais o fluxo de ar para as bordas das aletas, foram colocadas chapas de madeira tanto na parte superior

quanto na parte inferior do bocal de saída do túnel. Com essas duas chapas criou-se uma pequena fresta, que na altura correta tinha como sentido as bordas das aletas.

**Figura 19** - Sistema em Funcionamento (Sem Rampa)



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

### 3.6 CALIBRAÇÃO DO SISTEMAS

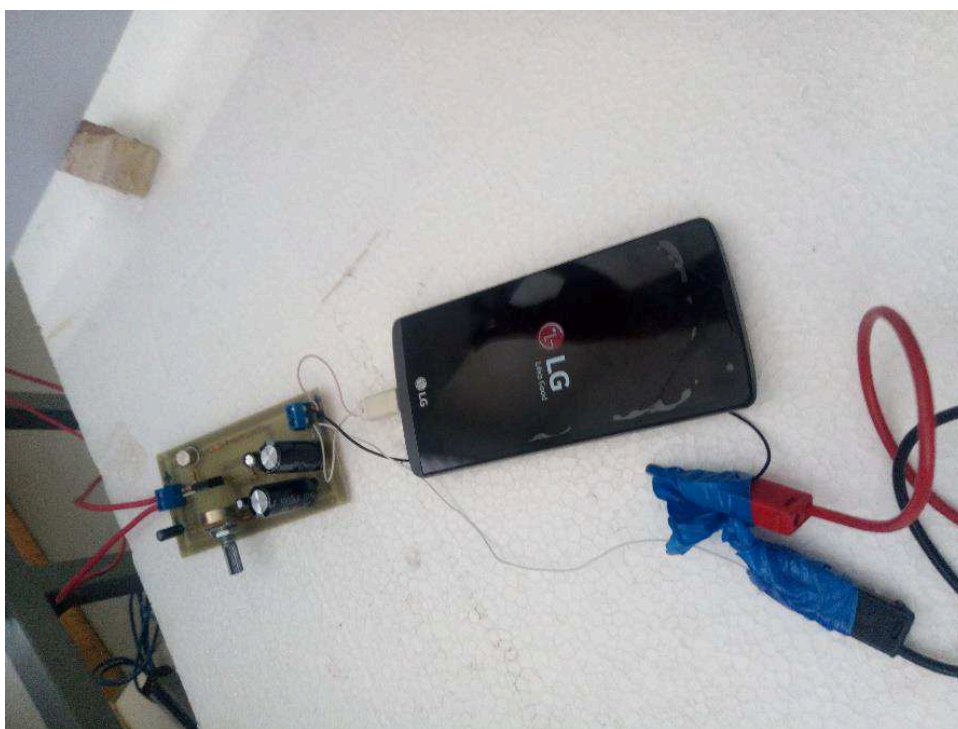
Para transmitir a energia gerada pelo motor dinâmico colocou-se fios de cobre com as extremidades conectadas ao motor dínamo e ao ponto de entrada da placa eletrônica.

A tensão elétrica gerada pelo motor dínamo é inconstante, atingindo alguns picos que podem ocasionar danos nos aparelhos eletrônicos conectados ao sistema. Para estabilizá-la, foi solicitado pelos idealizadores do projeto, o desenvolvimento de uma placa eletrônica capaz de manter a tensão de saída constante no valor desejado. Desse modo, independentemente da quantidade que entra, depois de regulada a

tensão de saída, por exemplo, no caso 5V, se o motor dínamo vier a transmitir qualquer voltagem acima disso, a tensão de saída se manterá de 5V (PEREIRA, 2004).

Assim que o sistema gera a tensão desejada, a mesma é transmitida através de um cabo, direto para o aparelho eletrônico que necessita ser alimentado eletricamente, como mostra a Figura 20.

**Figura 20** - Smartphone sendo Carregado por Meio do Sistema Desenvolvido



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

### 3.7 COLETA DE DADOS

Os dados possíveis de serem colhidos dentro do experimento, eram a velocidade do escoamento, a qual seria apresentada pelo anemômetro e a tensão resultante da conversão de energia, gerada pelo motor dínamo e capturada pelo multímetro.

Os dois valores eram coletados simultaneamente e transcritos imediatamente para uma avaliação e análise rápida, que mostraria qual era a performance da configuração testada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes foram realizados em ambiente fechado e com temperatura similar para todos os ensaios, evitando que o vento natural modificasse a velocidade final nas aletas.

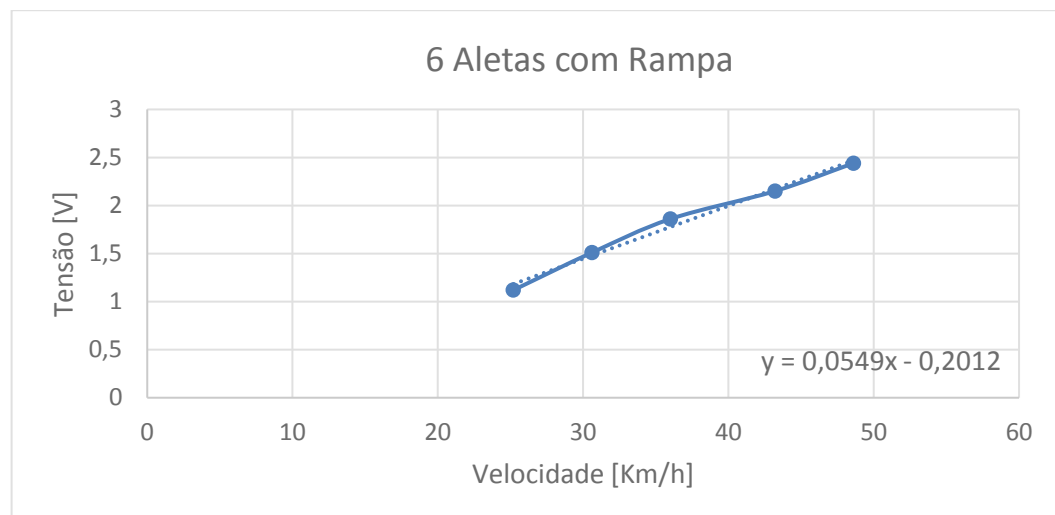
Iniciou-se o experimento com o número de seis aletas, mantendo a rampa de direcionamento de fluxo fixada a frente do aerogerador. Os resultados apanhados demonstrados na Tabela 1, Figura 21 e Tabela 2.

**Tabela 1 - 6 Aletas com Rampa**

| Painel | m/s  | km/h | Volts |
|--------|------|------|-------|
| 25     | 7    | 25,2 | 1,12  |
| 30     | 8,5  | 30,6 | 1,51  |
| 35     | 10   | 36   | 1,86  |
| 40     | 12   | 43,2 | 2,15  |
| 45     | 13,5 | 48,6 | 2,44  |
| 50     | 15,5 | 55,8 |       |
| 55     | 17   | 61,2 |       |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 21 - 6 Aletas com Rampa**



Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 2 - 6 Aletas com Rampa**

| Voltagem máxima [V] | Velocidade necessária [Km/h] |
|---------------------|------------------------------|
| 24                  | 440,8233                     |

Fonte: Elaborado pelo Autor

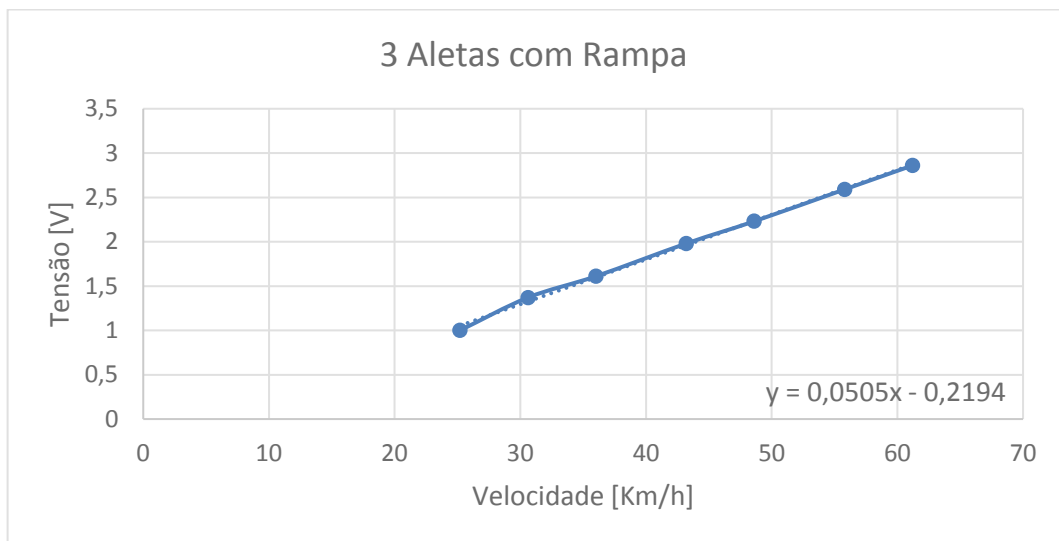
Dando sequência aos testes, foi analisado a configuração com três aletas e com a rampa de direcionamento de fluxo mantida. Os resultados obtidos são vistos na Tabela 3, Figura 22 e Tabela 4.

**Tabela 3 - 3 Aletas com Rampa**

| Painel | m/s  | km/h | Volts |
|--------|------|------|-------|
| 25     | 7    | 25,2 | 1     |
| 30     | 8,5  | 30,6 | 1,37  |
| 35     | 10   | 36   | 1,61  |
| 40     | 12   | 43,2 | 1,98  |
| 45     | 13,5 | 48,6 | 2,23  |
| 50     | 15,5 | 55,8 | 2,59  |
| 55     | 17   | 61,2 | 2,86  |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 22 - 3 Aletas com Rampa**



Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 4 - 3 Aletas com Rampa**

| Voltagem máxima [V] | Velocidade necessária [Km/h] |
|---------------------|------------------------------|
| 24                  | 479,5921                     |

Fonte: Elaborado pelo Autor

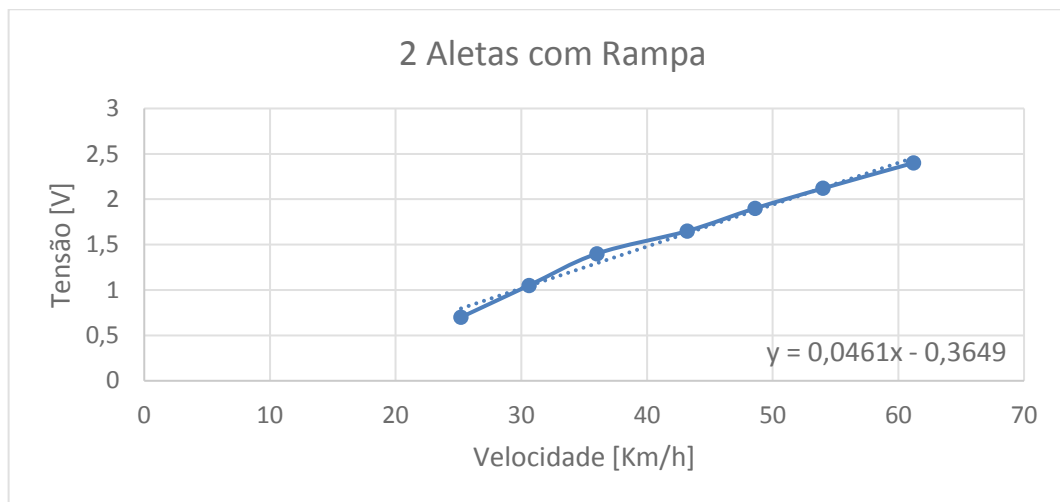
O terceiro ensaio foi realizado com apenas duas aletas e a rampa de direcionamento sendo preservada. A Tabela 5, Figura 23 e Tabela 6 apresentam os dados.



**Tabela 5 - 2 Aletas com Rampa**

| Painel | m/s  | km/h | Volts |
|--------|------|------|-------|
| 25     | 7    | 25,2 | 0,7   |
| 30     | 8,5  | 30,6 | 1,05  |
| 35     | 10   | 36   | 1,4   |
| 40     | 12   | 43,2 | 1,65  |
| 45     | 13,5 | 48,6 | 1,9   |
| 50     | 15   | 54   | 2,12  |
| 55     | 17   | 61,2 | 2,4   |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 23 - 2 Aletas com Rampa**

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 6 - 2 Aletas com Rampa**

| Voltagem máxima [V] | Velocidade necessária [Km/h] |
|---------------------|------------------------------|
| 24                  | 528,5228                     |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Essa primeira bateria de testes foi repetida de três a cinco vezes para uma maior acuracidade nos resultados de cada configuração. Todas as configurações avaliadas tiveram um desempenho satisfatório, no qual atendem ao requisito de gerar um valor mínimo de tensão, que seria suficiente para carregar dispositivos eletrônicos.

Porém analisando um experimento após o outro, se observou que a rampa de direcionamento de fluxo não era a maneira mais eficaz de guiar o escoamento até as aletas. A rampa deixava um gap alto do bocal de saída do túnel de vento até o

aerogerador, fazendo com que apenas uma parcela de todo o escoamento fosse direto às aletas, assim perdendo eficiência. O intuito de conduzir o fluxo para as aletas através da rampa, não estava reproduzindo o sucesso esperado.

Para solucionar este problema ocasional, foi necessário retirar a rampa e fixar o próprio aerogerador nas estruturas do túnel de vento. Outro ponto alterado foram as colocações de chapas de madeira na parte inferior e superior do bocal do túnel, deixando uma pequena abertura na altura das aletas. Feito isso, novas baterias de ensaios foram efetuadas para a comprovação de que a eficiência seria melhorada.

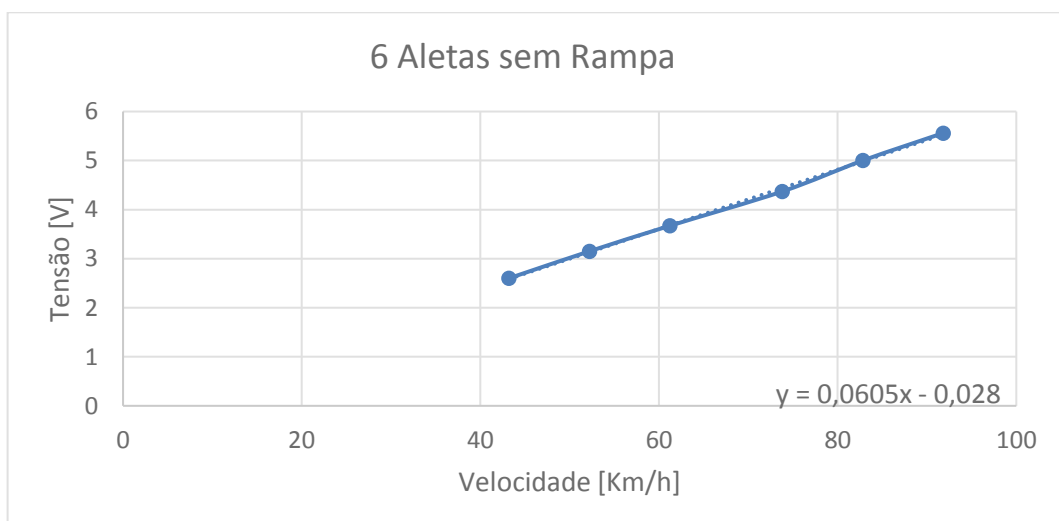
A ordem dos testes se manteve, de acordo com o número de aletas da primeira bateria ensaiada. Primeiramente com seis aletas demonstrados através da Tabela 7, Figura 24 e Tabela 8, depois os testes com 3 aletas vistos na Tabela 9, Figura 25 e Tabela 10. Os testes com 2 aletas sem rampa não foram possíveis de se realizar.

**Tabela 7 - 6 Aletas sem Rampa**

| Painel | m/s  | km/h | Volts |
|--------|------|------|-------|
| 25     | 12   | 43,2 | 2,6   |
| 30     | 14,5 | 52,2 | 3,15  |
| 35     | 17   | 61,2 | 3,67  |
| 40     | 20,5 | 73,8 | 4,37  |
| 45     | 23   | 82,8 | 5     |
| 50     | 25,5 | 91,8 | 5,56  |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 24 - 6 Aletas sem Rampa**



Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 8 - 6 Aletas sem Rampa**

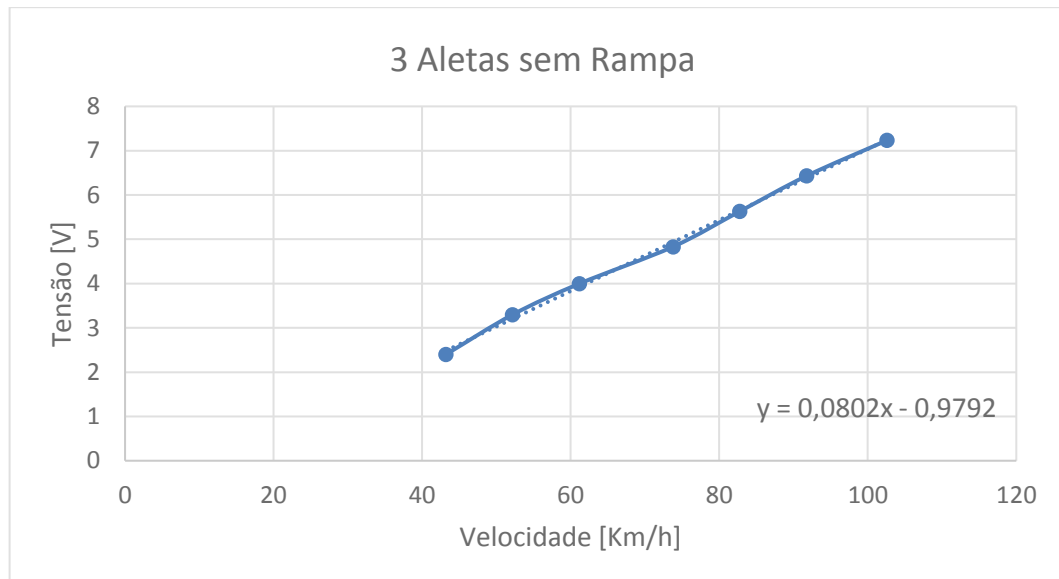
| Voltagem máxima [V] | Velocidade necessária [Km/h] |
|---------------------|------------------------------|
| 24                  | 397,157                      |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 9 - 3 Aletas sem Rampa**

| Painel | m/s  | km/h  | Volts    |
|--------|------|-------|----------|
| 25     | 12   | 43,2  | 2,4      |
| 30     | 14,5 | 52,2  | 3,3      |
| 35     | 17   | 61,2  | 4        |
| 40     | 20,5 | 73,8  | 4,833333 |
| 45     | 23   | 82,8  | 5,633333 |
| 50     | 25,5 | 91,8  | 6,433333 |
| 55     | 28,5 | 102,6 | 7,233333 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Figura 25 - 3 Aletas sem Rampa**

Fonte: Elaborado pelo Autor

**Tabela 10 - 3 Aletas sem Rampa**

| Voltagem máxima [V] | Velocidade necessária [Km/h] |
|---------------------|------------------------------|
| 24                  | 311,4613                     |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme Castro (2005, p.58) a eficiência do aerogerador depende do seu número de pás, e se consegue uma certa melhoria com o aumento de duas para três pás. Além disso, o mesmo cita uma perda progressiva de rendimento quando se estabelece um número acima de três pás para o aerogerador.

De acordo com os ensaios analisados, a configuração com duas aletas realmente demonstra desempenho inferior quanto ao modelo com três aletas. No entanto, quando se fala de perda progressiva com a configuração para quatro ou mais pás, em nossos testes não foi detectado o mesmo cenário. A configuração de seis aletas teve um desempenho superior ao modelo com duas, e praticamente idêntico ao modelo com três pás.

Para aplicações em que a quantidade de vento seja significativa, a melhor opção é a turbina de eixo horizontal, pois é o padrão mais indicado para a produção de eletricidade (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

Foi constatado que o modelo de eixo horizontal atendeu perfeitamente a grande quantidade de energia proveniente do túnel do vento, captando-a e transformando-a em energia elétrica.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste estudo explorou uma técnica inovadora de transformação de energia mecânica em energia elétrica para uso em aeronaves de pequeno porte, buscando conhecer a real potencialidade que o projeto teria.

Em tempos em que a sustentabilidade é uma palavra indispensável na sociedade, um projeto que se baseia em energia eólica demonstra por si só uma visão futura. A nova era de aeronaves com motores elétricos pode estar próxima, e maneiras que apresentem alternativas de fonte de energia além das baterias, serão bem-vindas.

Finalizado todos os testes, podemos concluir que a configuração com três aletas foi a que mais rendeu performance em comparação com as outras duas, tendo uma diferença bem significativa em relação à duas aletas e ficando próximo ao modelo com seis. O modelo com três aletas se mostrou mais eficiente acompanhando o padrão mundial de turbinas eólicas, que por sua grande maioria são projetadas com três hélices.

O objetivo proposto inicialmente por este trabalho obteve êxito, uma vez que conseguiu-se transformar a energia mecânica, derivada de um grande fluxo de ar em energia elétrica, o suficiente para carregar um dispositivo eletrônico. Outro objetivo que se mostrou perfeitamente legítimo é que, com a velocidade média de uma aeronave de pequeno porte é capaz de se manter todo o sistema em funcionamento, direcionando a energia transformada para equipamentos eletrônicos ou componentes da aeronave.

Por fim, diversas otimizações são possíveis de se trabalhar neste projeto. Um exemplo de aperfeiçoamento seria o perfil das aletas, no qual foi usado um perfil simétrico, por ter material mais barato e possuir confecção muito mais simples. Comparado à perfis de alto desempenho, que possuem uma alta eficiência aerodinâmica, o perfil simétrico tem enorme desvantagem, por todo o arrasto que o torna lento e ineficiente. Deste modo mesmo usando um perfil com pouca performance, o projeto atendeu ao propósito, deixando um aspecto positivo para testes futuros (ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS, 2018).

## 6 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

A partir do desenvolvimento deste trabalho, vimos que as possibilidades de melhorias e otimizações são grandes, isto seria útil para a vida acadêmica do interessado, quanto para exposição e utilização em eventos futuros da Universidade de Taubaté.

Devido aos nossos maiores desafios dentro do projeto em questão, onde o escoamento proveniente do túnel de vento não seguia uma única e limpa direção, fazendo com que tivesse perdas no meio do caminho e abaixasse a eficiência do aerogerador, sugerimos que se trabalhe um linearizador atrás do túnel, para que todo o fluxo de ar seja captado e direcionado exatamente para as aletas.

Outro ponto para que um linearizador seja trabalhado, seria a utilização do mesmo dentro do projeto *Aerodesign*, da Universidade de Taubaté, no qual os testes de desempenho com o grupo motopropulsor ficariam ainda mais fidedignos.

## 7 REFERÊNCIAS

AERO EXPO. **Liebherr: Ar Condicionado para Avião.** Disponível em: <<http://www.aeroexpo.online/pt/prod/liebherr-aerospace-transportation-sas/product-169208-44506.html>>. Acesso em: 26 Abril 2018.

ALMEIDA, A. T. P; SILVA, M. M. **Desenvolvimento e Montagem de um Gerador Eólico com Pás Compósitas.** 84 f. TCC – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2011.

ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS. **Wind Turbine Blade Design, Flat or Curved.** Disponível em: <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wind-turbine-blade-design.html>>. Acesso em: 20 Abril 2018.

BRASIL ECONÔMICO. **Aerogeradores que Irão Entrar em Funcionamento até o Fim Deste Ano tem o Aço como Peça Fundamental.** Disponível em: <<https://economia.ig.com.br/empresas/industria/arcelormittalbrasil/2014-10-15/energia-limpa-para-12-milhoes-de-brasileiros.html>>. Acesso em: 28 Março 2018.

CARVALHO, T. F. **AeroTD Escola de Aviação Civil: Sistemas e Materiais Elétricos de Aeronaves.** Disponível em: <<https://aerotd.com.br/decoleseufuturo/wp-content/uploads/2015/05/SISTEMAS-EL%C3%89TRICOS-DE-AERONAVES.pdf>>. Acesso em: 14 Abril 2018.

CASTRO, R. M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à energia eólica.** 2.1. ed. Lisboa: 2005.

COMAT RELECO. **Energia Eólica: Retirando Energia dos Ventos.** Disponível em: <<https://www.comatreleco.com.br/energia-eolica>>. Acesso em: 10 Abril 2018.

DVORAK, P. **Vertical Axis Turbine Works Well Atop Office Building.** Disponível em: <<https://www.windpowerengineering.com/construction/installation/vertical-axis-turbine-works-well-atop-office-building>>. Acesso em: 27 Março 2018.

EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA AALP. **Especificações de Projeto**. Disponível em: <<https://evolucaoalp.wordpress.com/category/evolucao-da-ciencia/>>. Acesso em: 25 Março 2018.

FILHO, A. S; CARDOSO, J. G. **Energia Eólica: Tipos de Geradores e Conversores Usados Atualmente**. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/artigo-do-espaco-do-IEEE-maio-2014.pdf>>. Acesso em: 27 Março 2018.

FRANCISCO, W. C. **Fontes de Energia**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/fontes-energia-1.htm>>. Acesso em: 23 Março 2018.

HANGAR 33. **Como Funciona o Sistema Elétrico das Aeronaves**. Disponível em: <<http://blog.hangar33.com.br/como-funciona-o-sistema-eletrico-das-aeronaves/>>. Acesso em: 28 Abril 2018.

JÚNIOR, J. S. S. **"O que é Energia?"**; *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-energia.htm>>. Acesso em: 22 Março 2018.

MANWELL, J. F; MCGOWAN, J.G; ROGERS, A.L. **Wind Energy Explained: Theory, design and application**. 2. ed. Wiley, 2009.

PEREIRA, M. M. **Um Estudo do Aerogerador de Velocidade Variável e Sua Aplicação para Fornecimento de Potência Elétrica Constante**. 98 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.

PORTAL ENERGIA. **Como Funciona um Aerogerador**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador>>. Acesso em: 02 Abril 2018.



RUSSELL, C. R. et al. **Energy Conversion**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/energy-conversion>>. Acesso em: 23 Março 2018.

TRADENER. **O que é Energia Eólica e como ela é Gerada?** Disponível em: <[http://www.tradener.com.br/atualidades\\_detalhes/o-que-e-energia-eolica--e-como-ela-e-gerada](http://www.tradener.com.br/atualidades_detalhes/o-que-e-energia-eolica--e-como-ela-e-gerada)>. Acesso em: 02 Abril 2018.

WENZEL, G. M. **Projeto Aerodinâmico de Pás de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal**. 76 f. TCC - Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, PUCRS, 2007.

WIND POWER. **Close Up - Nordex Launches Delta Turbine Series at EWEA**. Disponível em: <<https://www.windpowermonthly.com/article/1169324/close---nordex-launches-delta-turbine-series-ewe>>. Acesso em: 22 Abril 2018.