

AMAURI GHELLERE GARCIA MIRANDA

**ESTUDO DE CICLO DE VIDA DE GERADOR EÓLICO DE PEQUENO
PORTE UTILIZADO EM PROPRIEDADE RURAL**

CASCATEL

PARANÁ – BRASIL

MARÇO -2018

AMAURI GHELLERE GARCIA MIRANDA

**ESTUDO DE CICLO DE VIDA DE GERADOR EÓLICO DE PEQUENO
PORTE UTILIZADO EM PROPRIEDADE RURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira

CASCADEL

PARANÁ – BRASIL

MARÇO -2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Miranda, Amauri Ghellere Garcia
Estudo De Ciclo De Vida De Gerador Eólico De Pequeno Porte Utilizado Em Propriedade Rural / Amauri Ghellere Garcia Miranda; orientador(a), Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza; coorientador(a), Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira, 2018.
129 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2018.

1. energia eólica. 2. eficiência energética. 3. sustentabilidade. 4. energia embutida. I. Nelson Melegari de Souza, Prof. Dr. Samuel. II. Antônio Cruz Siqueira, Prof. Dr. Jair. III. Título.

AMAURI GHELLERE GARCIA MIRANDA

“ESTUDO DE CICLO DE VIDA DE GERADOR EÓLICO DE PEQUENO PORTE UTILIZADO EM PROPRIEDADE RURAL”

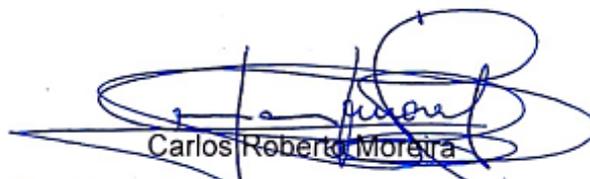
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira
Faculdade Assis Gurgacz – Cascavel (FAG)

Cascavel, 15 de março de 2018

*Dedico aos meus pais que acreditam e
encorajam minha busca pelo sucesso pessoal.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao meus pais, Iliete Ghellere Garcia Minorada e Amauri Garcia Miranda. Considero estes os grandes responsáveis pela pessoa em que me tornei e um dia ei de ser. Sempre me julguei, de certa forma, independente em minhas escolhas. Tomo eles como exemplo de vida, integridade moral e dedicação. Os méritos de minhas conquistas são e sempre serão conseqüências dos tutores de minha educação. Deles não apenas *ganhei um cérebro*, me ensinaram seu poder. Me ensinaram que grandes conquistas são aquelas que além de nos trazer prazer, agregam a nosso caráter e somam a nossa pessoa. Chegamos até aqui graças a pessoas que não aceitaram o comum e ordinário. O extraordinário só é alcançado fora da zona de conforto.

Posteriormente, gostaria de agradecer a todos professores desta instituição. Estes que me deram à luz do conhecimento e guiaram meus passos. Principalmente aos Professores Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza e Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira.

As instituições e mestres que não mediram esforços para cumprir nobre tarefa de repassar conhecimento a cada etapa. Desde o Colégio Ativa em São Miguel do Iguazu/PR, onde minha curiosidade pela ciência se despertou com a Professora Celoi Nicaretta. Ao Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz em Cascavel/PR, onde os Professores Me. Roberson R. Parizotto e Me. Gilson Debastiani aturaram pacientemente, nunca desencorajando, minha mente, à TDAH, levantando as mais randômicas hipóteses. A Universidade Estadual do Oeste do Paraná em Cascavel/PR, instituição de conclusão desta etapa.

Por fim, mas não menos, as minhas irmãs, Vanessa G. G. Miranda dos Santos e Natália G. G. Miranda, meus amigos e companheiros de cordadas. Estes são aqueles que aceitam os desafios, estão presentes nas concepções dos objetivos, perrengues do trajeto e comemorações das conquistas. “*A felicidade só é verdadeira quando compartilhada.*”, Jon Krakauer, 1997.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Primeiro moinho de vento, este encontrado na Pérsia.....	8
Figura 2: Aerogerador de eixo vertical.....	11
Figura 3: Resultantes da ação dos ventos sobre uma pá de um HAWT.	13
Figura 4: Curva de potência de aerogerador comercial.	13
Figura 5: Gerador de eixo horizontal, HAWT.....	15
Figura 6: HAWT upwind e HAWT downwind.	16
Figura 7: Curva de potência de uma aerogerador.	19
Figura 8: Exemplo de variação da potência, Power, (W/m ²) durante os meses do ano.	21
Figura 9: Exemplo de influência do terreno em gerador eólico.	22
Figura 10: Camada limite sobre superfície curva.	24
Figura 11: Exemplo de relação de probabilidade de Rayleigh.	27
Figura 12: Organograma representativo das fases da vida de um gerador eólico. ...	34
Figura 13: Organograma para ciclo de vida.	35
Figura 14: Aerogerador instalado no Projeto Casa, UNIOESTE.	42
Figura 15: Dimensões do aerogerador.....	43
Figura 16: Estação meteorológica do SIMEPAR.....	43
Figura 17 – Paquímetro digital, modelo utilizado no processo de medição.....	44
Figura 18: Balanças. A esquerda (a) balança da marca Marte e a direita (b) balança da marca Shimadzu.....	45
Figura 19: Fluxograma da linha de trabalho da ACV.....	48
Figura 20: Curva de potência do aerogerador.....	57
Figura 21: Representação gráfica do Elemento de fixação do hub no mastro.	62
Figura 22: Representação do suporte do estator.	63
Figura 23: Representação da montagem do eixo horizontal.	65
Figura 24: Massa respectiva dos materiais empregados no aerogerador.	66
Figura 25: Custo energético do aerogerador Greatwatt S-600.....	67
Figura 26: Impacto ambiental do aerogerador Greatwatt S-600.....	68
Figura 27: Tempo de payback energético.	73
Figura 28: Componentes da Lista 1, conforme Tabela 16.....	109
Figura 29: Componentes da Lista 2, conforme Tabela 16.....	110
Figura 30: Dimensões detalhada do eixo horizontal.....	106
Figura 31: Dimensões detalhada do imã.	107
Figura 32: Dimensões detalhada da arruela batente do eixo horizontal.....	108
Figura 33: Aerogerador instalado no Projeto Casa, Unioeste	111
Figura 34: Nariz.....	111
Figura 35: Nacele.	111
Figura 36: Mancal pás.....	111
Figura 37: radiador.	111
Figura 38: Porcas M6, união mancal das pás com pás.	111
Figura 39: Mola tensora da escova de transmissão.	111
Figura 40: arruela tensora.	112
Figura 41: Placa.	112
Figura 42: Escova de transmissão da placa ao eixo escova.	112
Figura 43: Rolamento.	112
Figura 44: Anel elástico.....	112

Figura 45: Borracha isolamento contra interperies posicionada entre o mancal do stator e nacele.....	112
Figura 46: Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4).	112
Figura 47: Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás.	113
Figura 48: Porcas M6, união mancal das pás com pás.	113
Figura 49: Mola escova terra.....	113
Figura 50: Ligação escova terra com parte metálica da nacele.	113
Figura 51: Escova terra.	113
Figura 52: Parafusos união placa a nacele.	113
Figura 53: Parafuso fixação do eixo escova.....	113
Figura 54: Apoio mancal para fixação da placa.....	113
Figura 55: Porca fixação mancal pás a eixo horizontal.	114
Figura 56: Pás.	114
Figura 57: Elemento de fixação do hub no mastro.	114
Figura 58: Eixo horizontal.....	114
Figura 59: Carcaça e Enrolamento estatórico	114
Figura 60: Eixo escova.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz energética nacional em 27 de julho de 2017	5
Tabela 2: Futuras fontes em processo de construção para malha energética nacional	6
Tabela 3: Futuras fontes a serem construídas para malha energética nacional	6
Tabela 4: Valores, aproximados, para distância rugosa por variedade da superfície.	26
Tabela 5: Energia equivalente embutida por material (MJ/kg)	39
Tabela 6: Emissão de CO ² equivalente por material (kgCO ² /kg)	39
Tabela 7: Especificações técnicas do aerogerador	41
Tabela 8: Balanças utilizadas para pesagem dos componentes	45
Tabela 9: Detalhes do aerogerador inserido no Windographer.	55
Tabela 10: Parâmetros adotados para avaliação de retorno energético do aerogerador.	57
Tabela 11: Relatório básico de geração	59
Tabela 12: Massa por matéria prima dos componentes que não puderam ser desmontados por completo.	64
Tabela 13: Lista de materiais e suas respectivas massas.	66
Tabela 14: Relatório básico de geração.....	71
Tabela 15: Dados de geração para 30m de altura de hub.....	71
Tabela 16: Listagem completa dos componentes do aerogerador	86
Tabela 17: Energia equivalente embutida por material (MJ/kg).	83
Tabela 18: Emissão de CO ₂ equivalente por material (kgCO ₂ /kg).....	85

LISTA DE EQUAÇÕES

1. Massa específica	10
2. Massa de matéria constituído de aço ASTM 1045	17
3. Relação massa por tempo de fluxo.....	23
4. Cinemática por unidade de tempo	23
5. Relação potencial energético pela área	23
6. Fator de constância energética	24
7. Tensão de cisalhamento	25
8. Relação velocidade do vento entre dois pontos a diferentes altitudes.....	26
9. Relação velocidade do vento entre dois pontos a camada com variação zero...	26
10. Pressão para fluido em repouso e massa constante	28
11. Constante da reação da massa do fluido pela gravidade	28
12. Fator de definição da distribuição de escalonamento de velocidade	28
13. Variável "c" para função k	29
14. Velocidade média de vento definida pela média acumulada	29
15. Desvio padrão para equação de média acumulada	29
16. Probabilidade de velocidade do vento em determinada faixa	29
17. Probabilidade de velocidade do vento em determinada área	29
18. Potencial de geração de energia de um gerador	30
19. Rendimento de um motor.....	30
20. Tempo Payback energético	31
21. Energia embutida para determinado material	40
22. Energia equivalente total.....	40
23. Capacidade anual de geração	60
24. Massa cobre	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a – aceleração (m/s^2)

A – área da seção transversal (m^2)

c – razão de escalonamento na distribuição Weibull (adimensional)

$C_{\text{fabricação}}$ – custo de fabricação (kW)

c_p - calor específico (J/kg)

C_p – rendimento de um motor (%)

$C_{\text{transporte}}$ – custo de transporte (kW)

d – distância (m)

$\partial\rho/\partial n$ – gradiente de pressão normal a direção da linha de não variação de pressão, isobárico (adimensional)

F – Força (N)

F_p – força derivada da pressão do ar (N)

g – aceleração da gravidade ($9.81 m/s^2$)

g_c – Constante de proporcionalidade (adimensional)

h – entalpia (J)

k – razão para forma da curva na distribuição Weibull (adimensional)

K_e – fator de constância energética (adimensional)

m – massa (mol ou kg)

\dot{m} – massa específica (kg/mm^3)

n – direção normal a linha de não variação de pressão (coordenadas polares)

N – número de horas em um ano (8760 horas)

N_i – número de medições (adimensional)

P – energia cinemática por unidade de tempo (W/s)

\bar{P} – potencia energético para determinado intervalo (W)

p – pressão (Pa)

P_{atm} – pressão atmosférica (hPa)

P_w – potencial de geração (W)

q – calor transferido ($^{\circ}C$)

T – temperatura ($^{\circ}C$)

t – tempo (s)

U – energia interna (J)

\bar{U} – velocidade média do vento no intervalo de tempo (m/s)

u – energia interna (J)

$U(z)$ – velocidade de ficção (m/s)

U_i – velocidade dos ventos na medição i (m/s)

V – Volume (m^3)

v – volume específico (m^3/kg)

$V.$ – velocidade (m/s)

z – variação de altura (m)

z_0 – distância rugosa (mm)

z_r – rugosidade a determinada altura de referência (adimensional)

α – taxa de variação de temperatura por variação de altura (0,0065 K/m)

γ – constante de massa específica do fluido pela gravidade (kg)

μ – viscosidade absoluta do fluido (m^2/s)

ρ – Densidade (kg/m^3 ou mol/m^3)

ρ_{Hg} - massa específica do mercúrio ($13.6 g/cm^3$)

τ – tensão de cisalhamento (N/m^2)

MIRANDA, Amauri Ghellere Garcia Miranda. Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Março 2018 **Estudo De Ciclo De Vida De Gerador Eólico De Pequeno Porte Utilizado Em Propriedade Rural** Orientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Co-orientador Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira.

RESUMO

Avanços tecnológicos buscam formas de melhorar a qualidade de vida da população. Para garantir a sustentabilidade em novos projetos parâmetros e metodologias são estabelecidas. Dentre estas metodologias a Análise de Ciclo de Vida busca avaliar o custo energético e o impacto ambiental de um determinado produto. Desta forma, o presente trabalho teve como propósito realizar tal análise em um aerogerador instalado no Projeto Casa, situação na Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE, Paraná, Brasil. O custo energético foi verificado seguindo metodologia ISO 14040, mensurado em MJ, e o retorno energético foi verificado seguindo metodologia proposta por Manwell, 2010. Esta foi pesquisa exploratória de fonte bibliográfica. Os dados meteorológicos utilizados para verificar o retorno energético do gerador foram dados reais, fornecidos pelo SIMEPAR. Desta forma, verificou-se que o custo energético do material, empregado no aerogerador, foi 803 MJ. O impacto ambiental do aerogerador avaliado na pesquisa, convertido em CO₂ equivalente, é de 60 kgCO₂. A capacidade de geração de energia do aerogerador, para as condições meteorológicas encontradas no local da análise é de 1390 MJ/ano quando gerando energia a corrente de 12V e 1278 MJ/ano quando à 24V. A análise constatou que o tempo de payback energético do aerogerador funcionando a 12V é de 11 meses e 18 dias e a 24V é de 1 ano e 18 dias respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: energia eólica, eficiência energética, sustentabilidade, energia embutida.

MIRANDA, Amauri Ghellere Garcia Miranda. State University of West Paraná, March 2018. **Life Cycle Analysis of Small Scale Wind Generator Used in Rural Property**. Teacher Adviser Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Teacher co-adviser Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira.

ABSTRACT

Technological advances seek to; somehow, improve the quality of life of the population. To ensure sustainability in new projects and methodologies are established. Among these methodologies to life cycle, assessment seeks to evaluate the energy cost and the environmental impact of a product. Thus, the present work had as purpose to carry out such analysis in a wind turbine installed in the project House, situation at the State University of Western Paraná UNIOESTE, Paraná, Brazil. The energy cost was checked following ISO 14040 and methodology the following methodology was verified energy return proposed by Manwell, 2010. This was exploratory research of bibliographic source. The weather data used to verify the energy return of the generator were actual data, provided by SIMEPAR. In this way, it was found that the energy cost of the material, used in the wind turbine, was 803 MJ. The environmental impact of wind turbine rated at this research, converted to CO₂ equivalent, is 60 kgCO₂. The capacity of power generation of the wind turbine, to weather conditions found at the scene of the analysis is of 1390 MJ/year when generating power at 12V current and 1278 MJ/year when at 24V. The analysis found that the energy embodied payback time of the wind turbine running at 12V is 11 months and 18 days and at 24V is 1 year and 18 days respectively.

KEYWORDS: wind energy, energy efficiency, sustainability, embodied energy.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Os objetivos específicos foram:	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Energia Elétrica no Brasil	4
3.1.1. Fontes energéticas nacionais	4
3.1.2. Prognóstico da situação energética nacional	5
3.2. Energia eólica	6
3.2.1. Definição das grandezas físicas	8
3.2.2. Aerogeradores	10
3.2.3. Material de construção mecânica dos aerogeradores	17
3.2.4. Capacidade de geração	17
3.2.5. Força presente nos ventos	19
3.2.6. Potencial dos ventos	22
3.3. CAMADA LIMITE	24
3.3.1. Perfil Logarítmico (Log Law)	25
3.3.2. Turbulência	26
3.4. FUNÇÃO DENSIDADE PROBABILIDADE	27
3.4.1. Cálculos probabilísticos de velocidade de ventos	27
3.4.2. Potência	29
3.5. Análise de Ciclo de Vida	30
3.5.1. Energia embutida	38
3.5.2. Impacto ambiental na geração de energia	40
4. MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1. MATERIAL	41
4.1.1. Aerogerador	41
4.1.2. Dados meteorológicos	43
4.1.3. Paquímetro	44
4.1.4. Balanças	45
4.1.5. Windographer	46
4.2. MÉTODOS	47
4.2.1. Local do estudo	49
4.2.2. Análise de ciclo de vida	49
4.2.3. Retorno energético	53
4.2.4. Análise Final dos Dados	60
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.3.1. Materiais empregados no aerogerador	61
4.3.2. Levantamento mássico dos materiais	61
4.3.3. Levantamento custo energético e massa equivalente de CO ₂	67
4.3.4. Retorno energético	69
4.3.5. Payback energético	72
5. CONCLUSÕES	74
6. REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

A busca por meios alternativos de geração de energia é um fato cada vez mais presente em países desenvolvidos e emergentes. Dentre os motivos que levam a esta tendência se destacam a redução do nível de reservas dos combustíveis fósseis e a meta de redução da emissão de gases de efeito estufa. Uma das alternativas para solução de tal problema é a utilização de fontes renováveis para geração de energia, tais como solar e eólica. Estes artifícios apresentam diversas vantagens no quesito ambiental, econômico e social. Neste âmbito e dentro desta categoria, a energia eólica utilizada em áreas rurais pode vir a contribuir com a malha energética nacional.

Quanto ao quesito ambiental, podem-se destacar três características no qual energia eólica se sobressai. A primeira e mais discutida na atualidade é o fato que, quando em operação, este meio de geração de energia não libera gases de efeito estufa, ou qualquer outro poluente gasoso. Outro aspecto positivo é encontrado no fato da ausência da necessidade de transporte do combustível para geração de energia. Sendo que, em fontes de energia derivada de combustíveis fósseis, o transporte do material para queima muitas vezes é necessário. Por fim, por se tratar de um combustível com potencial energético auto renovável é reciclado de maneira natural, este método pode ser utilizado continuamente sem a necessidade de reabastecimento, ou seja, inesgotável.

No quesito matéria prima para conversão de energia, por se tratar de um meio no qual não há necessidade de aquisição desta, este método já vem a apresentar vantagens quando comparado a outros meios, como, por exemplo, energia atômica e por queima de carvão ou gás. O fornecimento de incentivos para tal meio de geração de energia vem crescendo constantemente durante os últimos anos, criando um cenário positivo para este ramo. Este também apresenta um futuro otimista, segundo ANEEL, 2017.

Atualmente no Brasil as fontes energéticas renováveis apresentam maior participação de geração na malha energética. Sendo que, a fonte de geração de energia mais utilizada atualmente é a hidroelétrica. A energia eólica já está presente nesta participação, porém, ainda não tão imponente levando em consideração seu

potencial. Mesmo com os avanços tecnológicos alcançados até então, ainda há áreas que não são abastecidas com energia elétrica no Brasil.

Outro ponto importante ao avaliar a distribuição energética nacional diz respeito a áreas ainda não abastecidas com energia elétrica, este país tendo dimensões continentais, apresenta um grande desafio para concessionárias de distribuição de energia. Assim, elevando o custo da infraestrutura para distribuição totalitária no território nacional.

Quando há o desenvolvimento de pesquisas voltadas a fontes alternativas para geração de energia, além da eficiência energética, a busca por meios menos poluentes é um objetivo comum. Tendo em vista que fontes não renováveis de energia tem impacto ambiental, no qual é mensurado em CO₂e.

A utilização da energia eólica como alternativa para geração *in loco* é uma opção com grande potencial. Sendo que esta energia é renovável, apresenta pouco impacto ao meio ambiente. Desta forma, este impacto é analisado neste trabalho. Outro ponto a ser analisado quando buscasse avaliar a viabilidade e a sustentabilidade de um produto como este é a capacidade de retorno energético condizente ao custo, também energético, deste método de produção. Isto se faz para verificar se tal meio tem a capacidade de gerar o montante energético desprendido em sua manufatura. Para tal, a análise de ciclo de vida de um gerador de pequeno porte, destinado a operar em áreas rurais do interior de Cascavel, Paraná.

Assim sendo, a avaliação do custo energético e a comparação deste dado com o retorno, também energético, do gerador em questão vem a validar a hipótese que a energia eólica é uma alternativa sustentável na geração de energia em propriedade rural.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise do ciclo de vida, voltado ao custo energético e impacto ambiental, de um gerador eólico com capacidade nominal de 600W e da marca Greawatt, instalado no Projeto Casa na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Paraná.

2.2. Os objetivos específicos foram:

Calcular a demanda energética para fabricação do aerogerador;

Calcular o *payback* energético do gerador eólico;

Avaliar do impacto de CO₂ equivalente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Uma análise de ciclo de vida (ACV) busca avaliar quesitos voltados a sustentabilidade de um produto. Esta análise avalia o impacto que este produto tem durante toda sua vida, partindo da obtenção da matéria prima, manufatura, processos de transportes, instalação, manutenção e por fim o descarte. Esta avaliação pode tomar o âmbito do impacto ambiental mensurado em carbono equivalente liberado durante toda sua vida ou mesmo o levantamento do montante energético demandado em todo processo. A validade de um produto avaliada quando este produto tem a capacidade de retorno igual ou maior nos quesitos avaliados. Como, quando avaliado a demanda energética para produção de uma determinada usina, o retorno energético da usina durante sua vida útil é a forma de pagamento energético, também chamado de *payback* energético. (GUINÉE, 2002)

O desenvolvimento de um estudo de avaliação de ciclo de vida leva em consideração aspectos técnicos e logísticos. Estes visam avaliar quesitos ligados ao processo de produção, transporte, instalação e descarte final de um produto. Desta maneira, para que tal levantamento seja feito, são necessários a compreensão que alguns quesitos chaves para o desenvolvimento da ACV (GOULART COELHO; LANGE, 2016).

3.1. Energia Elétrica no Brasil

Segunda ANEEL (2017), Agencia Nacional e Energia Elétrica, a produção de energia elétrica derivada de hidroelétricas, na data de 27 de julho de 2017, representou 64,75%. Em segundo lugar está a térmica com 26,75%, seguida pela eólica, 7,1%, termonuclear, 1,9%, e por fim a solar fotovoltaica, 0,09%.

3.1.1. Fontes energéticas nacionais

Como já citado anteriormente, a geração de energia elétrica derivada de hidroelétricas é a grande dominante no cenário nacional. Outras fontes energéticas também vêm a somar na malha energética em nossa país. Na Tabela 1 está apresentada dados referente a energia gerada no dia de 03 de Junho de 2018 (ANELL, 2018). Tal informação tem o intuito de expor a grande dependência que temos em uma fonte energética. Por mais que estejamos trabalhando com outras

fontes, tais ainda não apresentam significativa percentual em um total. Sendo a de fontes derivadas de hidroelétricas, somadas, um total de suas participações de 63,81%. Já a fonte eólica participa apenas com 8,11% (PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014)

Tabela 1: Matriz energética nacional em 27 de julho de 2017

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	679	649.120	651.356	0,41
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	50	0
Central Geradora Eólica	527	12.916.439	12.893.643	8,11
Pequena Central Hidrelétrica	426	5.067.119	5.036.853	3,17
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.212	1.306.485	1.306.485	0,81
Usina Hidrelétrica	220	101.897.047	95.794.468	60,23
Usina Termelétrica	3.007	43.137.289	41.380.141	26,02
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,25
Total	7.074	166.963.549	159.052.996	100,00

Fonte: (ANEEL, 2017).

3.1.2. Prognóstico da situação energética nacional

Avanços no ramo energético estão previstos pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Esta prevê um aumento na capacidade de produção outorgada de 17.353.468 kW. Neste montante está agregado, somado, a outorga prevista para empreendimento já em construção e previstos, valores apresentados nas Tabelas 2 e 3. Neste aumento da capacidade produtiva, a ANEEL prevê que a fonte energética eólica participará com 4.696.060 kW, isto representa 27,06% do total a ser agregado a capacidade de produção (ANEEL, 2018).

Tabela 2: Futuras fontes em processo de construção para malha energética nacional

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	4	3.298	0,04%
Central Geradora Undi-elétrica	0	0	0,00%
Central Geradora Eólica	110	2.493.650	30,21%
Pequena Central Hidrelétrica	25	294.610	3,57%
Central Geradora Solar Fotovoltaica	17	487.220	5,90%
Usina Hidrelétrica	6	1.254.100	15,19%
Usina Termelétrica	26	2.371.262	28,73%
Usina Termonuclear	1	1.350.000	16,36%
Total	189	8.254.140	100,00%

Fonte:(ANELL, 2018).

Tabela 3: Futuras fontes a serem construídas para malha energética nacional

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	2	2.512	0,03
Central Geradora Undi-elétrica	0	0	0,00
Central Geradora Eólica	100	2.202.410	24,20
Pequena Central Hidrelétrica	126	1.656.068	18,20
Central Geradora Solar Fotovoltaica	47	1.150.291	12,64
Usina Hidrelétrica	7	694.180	7,63
Usina Termelétrica	114	3.393.867	37,30
Usina Termonuclear	0	0	0,00
Total	396	9.099.328	100,00%

Fonte: (ANELL, 2018).

3.2. Energia eólica

A utilização da energia provida dos ventos não é um ato recente. Segundo Burton, 2001, tal meio vem sendo empregado a cerca de 3000 anos. Inicialmente esta fonte de energia era utilizada par impulsionar embarcações, fato presente até

hoje. O primeiro registo de utilização da força do vento, com a finalidade de girar um eixo para realização de um trabalho mecânico, se dá cerca de 644 d.C. na Pérsia, onde um mecanismo rudimentar era utilizado para bombeamento de água (DODGE, 2001; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010), este dispositivo está exposto na Figura 1. Foi durante a era medieval que esta fonte passou a ser explorada de uma maneira na qual conhecemos hoje, por moinhos de ventos e similares.

Os primeiros moinhos de ventos, pode-se dizer, modernos, foram construídos na Holanda (MOUFAKKIR, 2007). Lembrando que estes moinhos desta época ainda não tinham a função de gerar energia elétrica, más sim a moagem de grãos e bombeamento de água (DODGE, 2001). Mesmo tendo se desenvolvido por um longo período de tempo, esta tecnologia possui significante potencial para grandes melhorias (MOUFAKKIR, 2007). O avanço desta tecnologia cresceu muito na década de noventa, fato positivo para a indústria eólica de todo mundo (PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014). Segundo publicação realizada por UpWind, 2011, as perspectivas para o futuro da energia eólica são promissoras. Porém, para que sejam alcançadas as metas previstas são necessários investimentos que visem avanços tecnológicos nos aerogeradores, seus métodos de produção e levantamento de dados referente a locais para exploração desta fonte energética (FICHAUX et al., 2011).



Figura 1: Primeiro moinho de vento, este encontrado na Pérsia.

Fonte: (AHURA, 2011).

3.2.1. Definição das grandezas físicas

Uma avaliação de ciclo de vida e *payback* energético trabalha com uma grande gama de dados de diversificadas fontes. A fim de padronizar as grandezas a serem trabalhadas estas avaliações seguem um padrão previsto por normativas. No ramo das ciências exatas é crucial que um sistema de medidas padrão seja estabelecido. As grandezas derivadas da física e empregadas na avaliação de geração de energia em sistemas eólicos seguem o padrão internacional ISO. Grandezas em questões não físicas, como avaliação de impacto ambiental, seguem padrões estabelecidos e utilizados atualmente por pesquisadores, estas tratadas separadamente (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012; HAAPALA; PREMPREEDA, 2014; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

3.2.1.1. Energia eólica

Segundo Parizotto (2014), a quantidade de trabalho que um mecanismo pode produzir é denominado energia. Tal energia não é criada, consumida ou destruída, e sim convertida. Tal energia também é encontrada nos ventos e é esta energia que move o rotor de geradores eólicos. Sendo o aerogerador, a ferramenta de conversão. Esta pode ser mensurada levando em consideração características como a massa específica do fluido e sua velocidade de deslocamento. A energia captada pelo aerogerador depende da energia disponível no fluido e a área de captura deste fluido. Em um aerogerador a área de captura do lido é a área coberta pela revolução das pás. Fatores como arrasto, turbulência, velocidade de giro das pás e outros vem a influenciar na energia gerada pelo gerador eólico (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

3.2.1.1.1. Origem da energia eólica

A radiação solar é absorvida pela atmosfera terrestre e transformada em calor, que por sua vez causa diferença de pressão em seu meio fazendo com que ocorra o deslocamento de massas. Dentre as massas que vem a se deslocar, o ar é uma delas. O deslocamento de ar é denominado vento. Estes ventos, ao passarem por zonas com obstáculos físicos, geram zonas de alta e baixa pressão. Conseqüentemente, estas variações de pressão geram variações de esforços sobre superfícies. Desta forma, a energia eólica, na forma utilizada hoje para geração de energia, converte estes esforços gerados sobre as superfícies, neste caso as pás dos aerogeradores, em energia elétrica (BURTON et al., 2001; WAGNER CORRADI et al., 2010).

“A porcentagem de energia dos ventos que pode ser transformada em energia elétrica é muito baixa, não sendo possível converter mais de 59,3% da energia total.” (Parizotto, 2014).

3.2.1.2. Grandeza: Massa específica

O potencial energético nos deslocamentos de massa está relacionado a massa específica (\dot{m}) do fluido a ser trabalhado. Esta, também conhecida por densidade absoluta, de um material é a razão de seu volume (V), quantificado em

m^3 , e um e sua massa (m), quantificado em kg. Esta tem por unidade quilogramas por metro cúbico (kg/m^3).

Tendo, a massa específica definida pela equação 1, a seguir (TIPLER; MOSCA, 2009; WAGNER CORRADI et al., 2010):

$$\dot{m} = \frac{m}{v} \quad (1)$$

3.2.2. Aerogeradores

O princípio de funcionamento de geradores eólicos executa a seguinte tarefa: convertem energia disponível nos ventos em energia mecânica, que por sua vez pode ser convertida em energia elétrica (ENERGY.GOV., 2014).

No início do século treze, máquinas capazes de utilizar a energia dos ventos, em sua maioria, funcionavam com eixo horizontal. Estas eram utilizadas como parte da economia rural. A utilização de aerogeradores para conversão da energia eólica em energia elétrica data do final do século XIX, onde um gerador de 12 kW, de corrente contínua, foi construído por Brush nos Estados Unidos da América. Seu estudo e projeto foram realizados por LaCour na Dinamarca (BURTON et al., 2001).

6.1.4.1 Escopo de um gerador eólico

O escopo de um aerogerador, sua forma física e posicionamento dos componentes, busca o melhor aproveitamento da energia disponível. Todavia, dependendo das condições do local de instalação e finalidade da energia gerada, pesquisadores chegaram a diferentes produtos. Desta forma, geradores eólicos, atualmente, segue duas grandes linhas quanto a sua forma física. Uma vez o vento vindo de encontro as pás, faz com que esta(s) pá(s), hélice, se mova/m fazendo com que o eixo do rotor venha a girar. Tal eixo pode estar posicionado horizontalmente ou verticalmente em relação à direção do vento. Os geradores de eixo horizontal, Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT), modelo mais utilizados atualmente, são aqueles no qual o eixo principal é posto no sentido horizontal, paralelo ao solo, e os geradores de eixo vertical, Vertical Axis Wind Turbina (VAWT), o eixo motriz do gerador é posicionado verticalmente em relação ao solo.(BURTON et al., 2001; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002)

Segue, Figura 2, exemplo de um aerogerador de eixo vertical instalado no Centro Nacional de Tecnologia Eólica, National Wind Technology Center (NWTC), situado em 18299 West 120th Avenue, Louisville, Colorado, Estado Unidos da América (BOWEN, 2012).



Figura 2: Aerogerador de eixo vertical

Fonte: (BOWEN, 2012).

3.2.2.1. Componentes

Aerogerador é a nomenclatura dada a montagem do sistema mecânico e elétrico com a função de conversão da energia eólica para outra forma de energia. Uma montagem é denominada um sistema composto por submontagens e componentes, sendo componente uma peça singular de uma montagem. Assim sendo, as submontagens do gerador são definidas e separadas por suas respectivas funções e posicionamento (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

3.2.2.1.1. Pás

As pás dos geradores eólicos são os componentes responsáveis pela captação da energia motriz disponíveis nos ventos e conversão deste para energia mecânica no eixo do gerador. Estas funcionam através de princípios aerodinâmicos onde o diferencial de pressão exercida pelo fluido, ar, sobre sua superfície resulta em um movimento guiado, transferindo esta força para um eixo came. Este diferencial de pressão na sua superfície pode ser positivo ou negativo e tal gera forças de sustentação e arrasto (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

Em modelos de geradores de eixo horizontal (HAWT), a força de sustentação é a responsável pela geração de energia, sendo a força de arrasto indesejada e causadora do efeito sombra, ou também conhecido por esteira. (BURTON et al., 2001)

Como as pás dos HAWT estão em movimento durante sua atuação, a ação do vento sobre sua superfície não pode apenas ser estudada de uma forma estática, sendo que estas são resultantes da velocidade do vento sobre uma superfície em constante movimento. Desta maneira, estas forças e resultantes estão apresentadas na imagem a seguir, Figura 3:

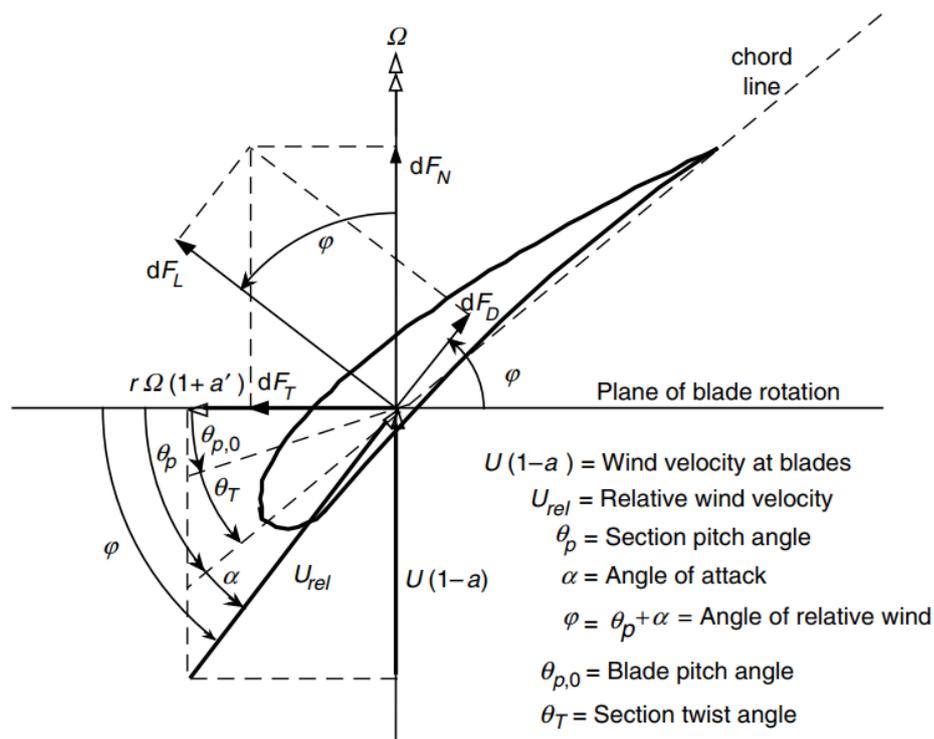


Figura 3: Resultantes da ação dos ventos sobre uma pá de um HAWT.

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

Contudo, o resultado prático da ação do fluido sobre a pá pode ser quantificado pela energia gerada pelo gerador. Esta energia é apresentada em relação a velocidade do vento e, tal gráfico formado, é chamado de curva de potência do aerogerador. Em geral, a curva de potência de um aerogerador apresenta a seguinte perfil, Figura 4 (LANZAFAME; MAURO; MESSINA, 2015; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

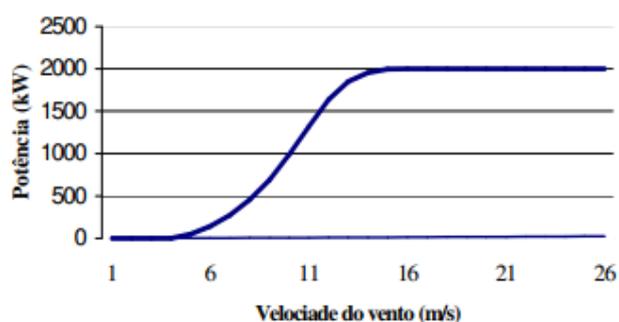


Figura 4: Curva de potência de aerogerador comercial.

Fonte: (SYSTEMS, 2003).

3.2.2.1.2. Gerador eólico

Gerador é o componente responsável por converter a energia mecânica do eixo de transmissão conectado ao mancal da ligação com as pás. Este tem sua estrutura de montagem muito similar a um motor elétrico, porém com função contrária. Ou seja, este converte energia mecânica em energia elétrica. Também é conhecido como alternador (BURTON et al., 2001).

A fim do levantamento do custo energético de produção de um aerogerador, e seguindo as normas ISO 14040, o peso de cada componente, dividido por material de sua produção, deve ser estimado. Desta forma quando comparado com o custo energético de produção manufatura de cada material é possível assim fazer esta estimativa (FINKBEINER et al., 2006; GUINÉE, 2002; MARTÍNEZ et al., 2009).

3.2.2.1.3. Estrutura do aerogerador

A estrutura do gerador eólico, no qual inclui fundação, torre e mancais, são compostas por uma grande gama de materiais. Cada componente, devido a diferentes funções que devem exercer, tem sua seleção de materiais baseada nos esforços mecânicos que estará sujeita durante o uso e ao custo para aquisição e manufatura. (BURTON et al., 2001; EMEJEAMARA; TOMLIN; MILLWARD-HOPKINS, 2015).

De modo geral, as torres dos aerogeradores de pequeno porte são fabricadas de metal. A fundação do aerogerador é fabricada de vergalhões metálicos, ferro extrusado a quente, e concreto, tecnologia também chamada de concreto armado. O mancal do gerador é normalmente construído de aço carbono (PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014).

3.2.2.2. Gerador de eixo horizontal - HAWT

Geradores de eixo horizontal (HAWT – *Horizontal Axis Wind Turbine*) normalmente possuem duas ou três hélices e operam, normalmente, *upwind*, com a face voltada para o vento. (ENERGY.GOV., 2014) HAWT modernos são basicamente constituídos por:

1. Controlador do Cubo;
2. Controle de *pitch*;

- | | |
|--|--|
| 3. Fixação das pás no cubo; | 12. Pás; |
| 4. Eixo principal; | 13. Rolamento das pás; |
| 5. Aquecedor de óleo; | 14. Sistema de trava do rotor; |
| 6. Caixa multiplicadora; | 15. Sistema hidráulico; |
| 7. Sistema de freios; | 16. Plataforma da <i>nacele</i> ; |
| 8. Plataforma de serviços; | 17. Motores de posicionamento da <i>nacele</i> ; |
| 9. Controladores e inversores; | 18. Luva de acoplamento; |
| 10. Sensores de direção e velocidade do vento; | 19. Gerador; |
| 11. Transformador de alta tensão; | 20. Aquecimento de ar. |

Tais componentes estão apresentados na Figura 5.

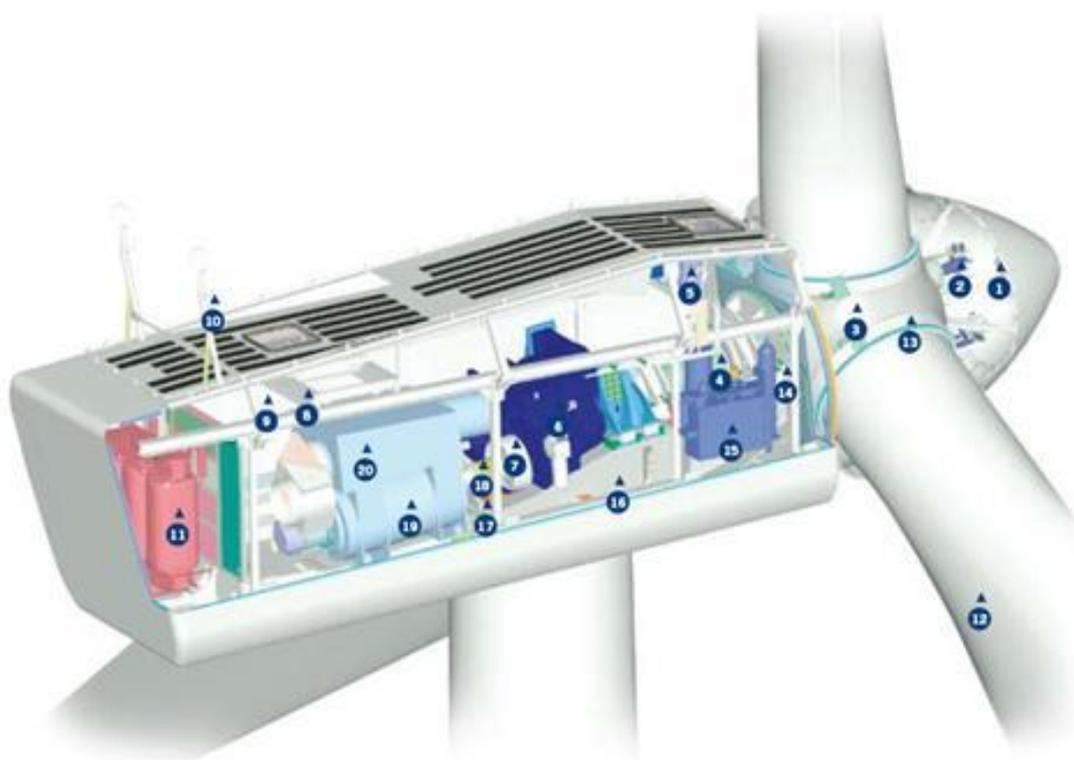


Figura 5: Gerador de eixo horizontal, HAWT.

Fonte: (VESTAS, 2003).

Segundo Parizotto, 2014, HAWT é o modelo mais comum na atualidade e com maior tendência para o futuro. Geradores modernos de eixo horizontal possuem mecanismos no qual permitem que os ângulos de ataque das pás sejam alterados, com isso possibilitando seu funcionamento em uma faixa maior de velocidade de vento (BURTON et al., 2001).

3.2.2.2.1. Modelos Up Wind e Down Wind de geradores

Dentre os HAWT é encontrado duas subcategorias e esta distinção diz respeito a direção no qual o vento sopra em relação a pá e a caixa de máquinas, *hub*. Na primeira situação, o vento encontra as hélices antes de encontra o *hub*, ou seja, as faces das pás estão voltadas para direção do vento. Tal layout é chamado de Up Wind, termo em inglês que quer dizer, literalmente, vento em cima. Quando a ordem dos fatos se altera, o vento passa primeiramente pela caixa de máquinas para então acertar as hélices, esta configuração é chamada de Down Wind, do inglês, vento por baixo, Figura 6 (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

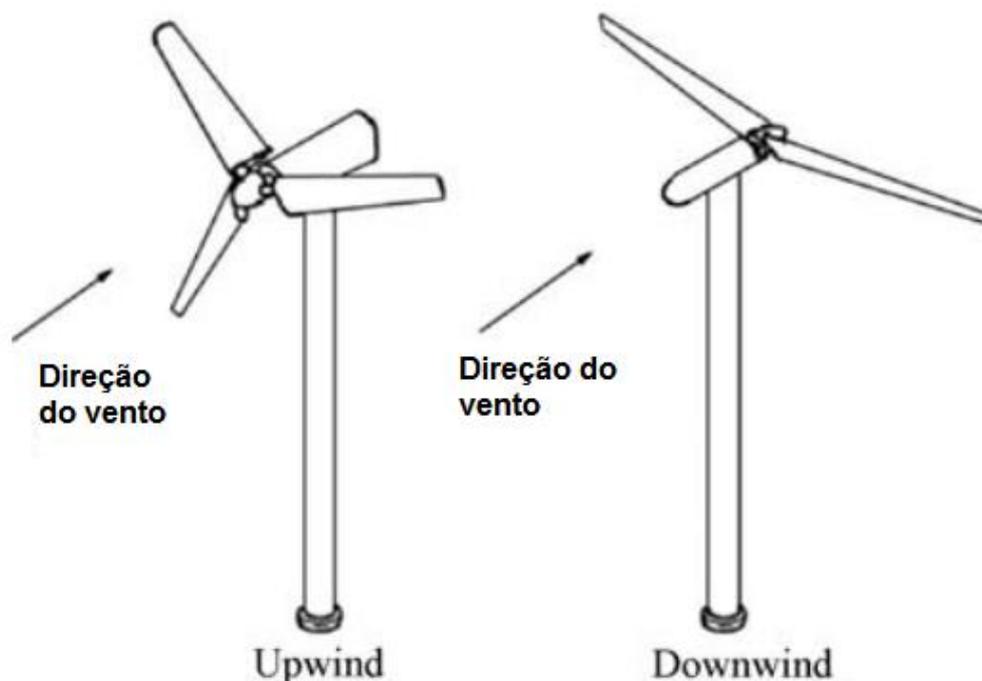


Figura 6: HAWT upwind e HAWT downwind.

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

3.2.3. Material de construção mecânica dos aerogeradores

Em geradores de pequeno porte, os materiais de construção mecânica se assemelham com os materiais aplicado a moto geradores de pequeno porte. Sendo os mesmo em motores elétricos de semelhante potência (BUKALA et al., 2015).

Em uma análise de ciclo de vida, dados referentes ao material utilizado no produto e sua massa são utilizados para determinar a energia embutida neste componente (GUINÉE, 2002).

O eixo de tração de força, came, de um moto gerador é uma peça construída de caço carbono. Onde um perfil de aço, normalmente ASTM 1045 trefilado, é usinado a fim de moldar com os devidos rebaixos para posicionamento das peças que nele vão acopladas e suportes para mancais(MELCONIAN, 2012; OLIVEIRA, 2009).

A massa do produto acabado varia em função da massa específica (\dot{m}) do material empregado e do volume do produto final. Sabendo que a massa específica do Aço ASTM trefilado é de 7850 kg/m³, a massa da peça pode ser obtida através da seguinte equação 1 (MACEDO; LOMBARDI; DUTRA, 2016; TIPLER; MOSCA, 2009):

Desta forma, a massa de um material, construído em aço trefilado, é dada por:

$$m = 7850 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times V (m^3) \quad (2)$$

Outro material utilizado em geradores é o Neodímio. Este é empregado nos rotores onde, aproximado dos estatores e quando em revolução a frequência adequada, são responsáveis pela geração de energia. Em geral os Neodímios possuem massa específica de 6000 a 7600 kg/m³. Aqui estaremos adotando o valor de 6800 kg/m³, por se tratar de um valor médio encontrado em bibliográfica (FERREIRA; COSTA, 2011; OLIVEIRA, 2009; SÉRGIO RODRIGUES, [s.d.]).

3.2.4. Capacidade de geração

A capacidade de geração de um aerogerador depende de diversas características. Estas variáveis são basicamente divididas em deus grupos,

controláveis e não controláveis. Dentro das variáveis controláveis estão contidas características como perfil de pá, possibilidade de mudança na angulação das pás em relação a direção do vento, velocidade de *startup* e *shutdown* (velocidade mínima e máxima do vento para operação do aerogerador), etc. As condições não controláveis dizem respeito a características que não podem ser manipuladas, condições naturais. Estas podem ser a velocidade dos ventos, pressão atmosféricas, condições climáticas e tudo que vem a interferir na geração de energia (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

Para avaliação do *payback* energético de um aerogerador, levando em consideração a ACV, a capacidade de geração do aerogerador deve ser avaliada. Esta leva em consideração aspectos inerentes a seu conceito de fabricação, condições de aplicação e condições do local. Tais fatores vem a influenciar a geração instantânea de energia, conseqüentemente a capacidade média de geração (TREMEAC; MEUNIER, 2009).

A capacidade de geração de energia de um aerogerador é apresentado graficamente pela curva de potência. Esta expressão gráfica apresenta uma relação na velocidade do vento em relação a capacidade de geração e energia em kW, como apresentado na Figura 7 (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Apresentado na Figura 7, o gerador eólico possui capacidade máxima de geração de energia quando a velocidade do vento é de aproximadamente 17~18 metros por segundo. Logo após esta capacidade de geração começa a reduzir. Esta característica normalmente ocorre devido ao *pitch* fixo, sendo o *pitch* a nomenclatura para o ângulo de ataque das pás, sua inclinação. Uma vez que este não pode ser alterado e na situação em que a velocidade do vento que cruza com o gerador é na eminência da velocidade de estol, sendo estol a situação em que o descolamento do ar após a passagem do ar pelo perfil aerofólio tem seu escoamento turbulento e deixando de produzir sustentação, quando aumentado minimamente a velocidade do fluido o gerador começa a perder capacidade de geração (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

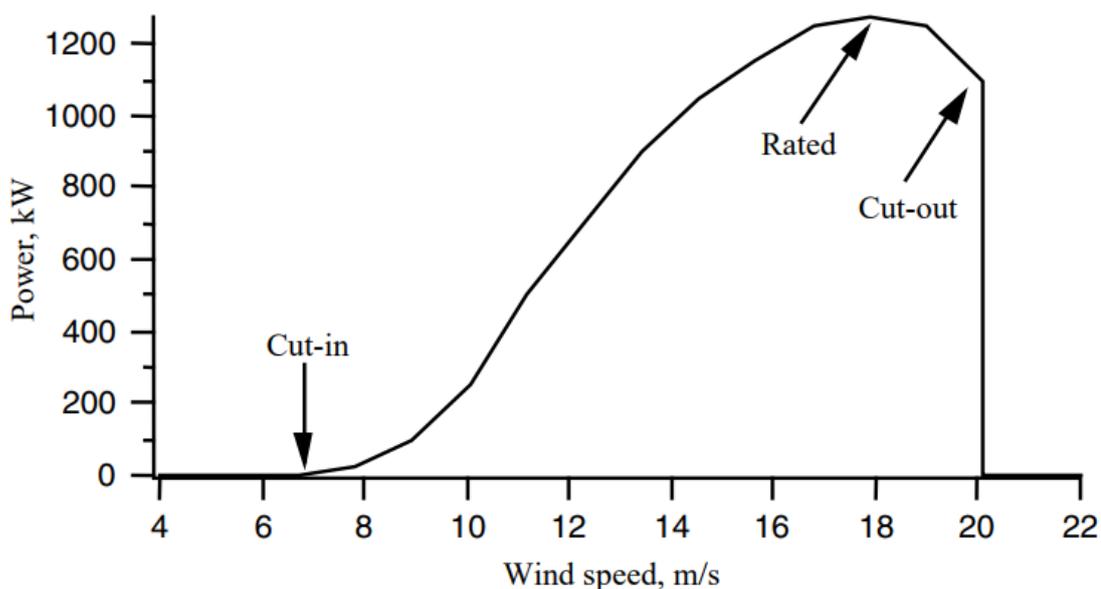


Figura 7: Curva de potência de uma aerogerador.

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Outra condição que interfere na velocidade de estol de um perfil aerodinâmico é a pressão do fluido. Geradores eólicos modernos apresentam mecanismos de controle de pitch. Este sistema trabalha em conjunto com um anemômetro e barômetro. Testes computacionais envolvendo Fluido Dinâmica Computacional CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e testes físicos em laboratórios podem ser usados para determinar a relação da velocidade de escoamento do fluido, velocidade angular das pás, massa específica do ar e pressão atmosférica a fim de buscar a angulação com maior desempenho para o gerador. Desta forma, o que ocorre na prática é uma constância na capacidade de geração após chegada na velocidade de máxima potência (BURTON et al., 2001).

3.2.5. Força presente nos ventos

O potencial eólico leva em consideração inúmeros fatores e pode ser analisado em diversas escalas. Segundo Manwell, J., McGowan, J. e Rigersm, A., 2010, a distinção geral dos ventos levam em consideração três fatores, como a origem, características e potencial dos ventos. Pode-se observar um padrão na abordagem destes temas, no qual Manwell, J., McGowan, J. e Rigersm, em sua obra *Wind Energy Explained*, Hiester, T.R., Pennel, W.T., em *The Meteorological Aspects*

of Siting Large Wind Turbines e Kay, M, em material passado em aula para o curso de Energias Renováveis na Universidade de Nova Gales do Sul, Campos Kensington, SOLA 5053/910, tratam o aspecto de origem dos ventos partindo de uma visão geral, macro, para uma escala menor, micro. Estes argumentam, unanimemente, que o vento é uma forma de energia derivada da energia solar absorvida pela terra. Isto é, uma vez o sol aquecendo nossa atmosfera que vem a gerar diferença de pressão em determinadas localidades fazendo com que massas de ar se desloquem, de áreas de alta pressão para áreas de baixa (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Para que possa ser avaliada e prevista as direções dos ventos em uma escala menor, é necessário um entendimento da mecânica da dinâmica dos ventos (T.R. HIESTER; W.T. PENNEL, 1981).

3.2.5.1. Influência das correntes de ventos

Fenômenos estes acarretam na variação da velocidade, direção e frequência dos ventos. A frequência no qual estas variações vêm a ocorrer podem ser divididas em interanual, anual, diurna e de curto prazo. Tais eventos podem ter diversas origens, como já descrito em três escalas nos parágrafos prévios. Com isto, se justifica a avaliação do local no qual deseja-se implantar um ou mais gerador eólico (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Segundo Manwell *et al.* (2010), a variação das condições dos ventos em uma escala interanual se trata de uma variação no qual ocorre com frequência maior do que um ano. Segundo o autor, este fator é importante para avaliar um local quando se faz um investimento a longo prazo. Meteorologistas argumentam que é necessário a coleta de dados em um intervalo de trinta anos para que uma perspectiva segura possa ser feita. Mesmo assim a coleta em curto período é válida, conforme Aspliden *et al.* (1986). Este autor alega que com uma coleta de dados por um período de um ano já é possível prever futuras condições de ventos, a longo prazo, com uma segurança de 90%.

Em uma análise de dados para retorno energético em determinado intervalo de tempo, inferior a um ano, estas variações são chamadas de variações anuais.

Tais variações podem ser consequência de estações do ano e suas respectivas condições climáticas. Ilustrado na Figura 8 a variação na potência dos ventos, valor diretamente proporcional a velocidade dos ventos, estes dados corresponde a Billings, Montana (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

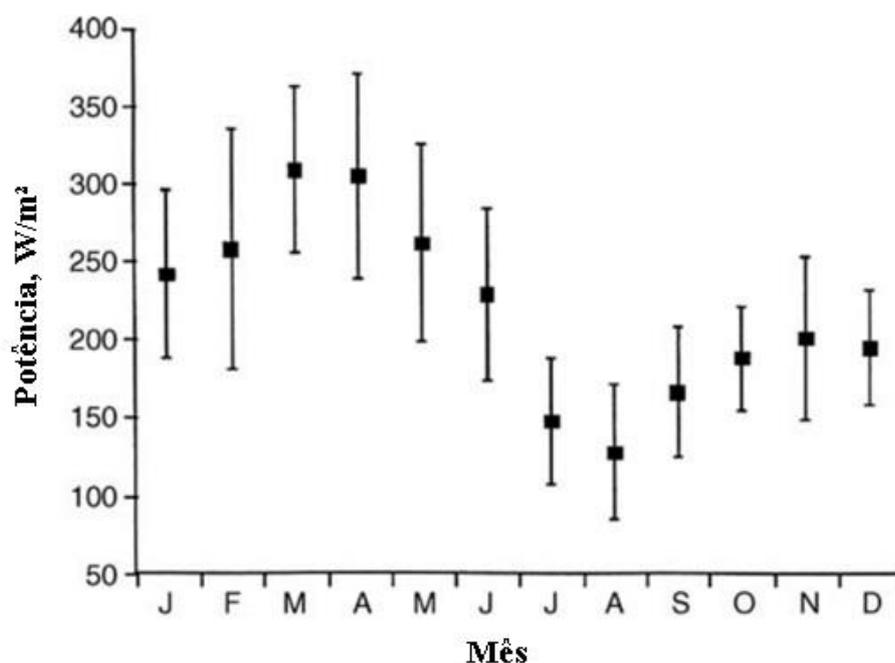


Figura 8: Exemplo de variação da potência, Power, (W/m^2) durante os meses do ano.

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

3.2.5.2. Influência do terreno

Ilustrado na Figura 9, está um bom exemplo no qual apresenta a influência do terreno em turbina eólica. Na situação apresentada na Figura 9, o gerador eólico, situado no cume de um morro, no qual este apresenta um escopo suave com ascensão graduada servido como um guia físico e não causando turbulência. Neste caso a capacidade de geração é incrementada resultante do aumento de pressão do ar. No segundo exemplo a abrupta elevação no terreno causa uma zona de turbulência no pé da montanha fazendo com que o ar que chega a turbina esteja em estado turbulento também, situação não favorável em geração de energia eólica, no qual se busca um escoamento laminar (BURTON et al., 2001).

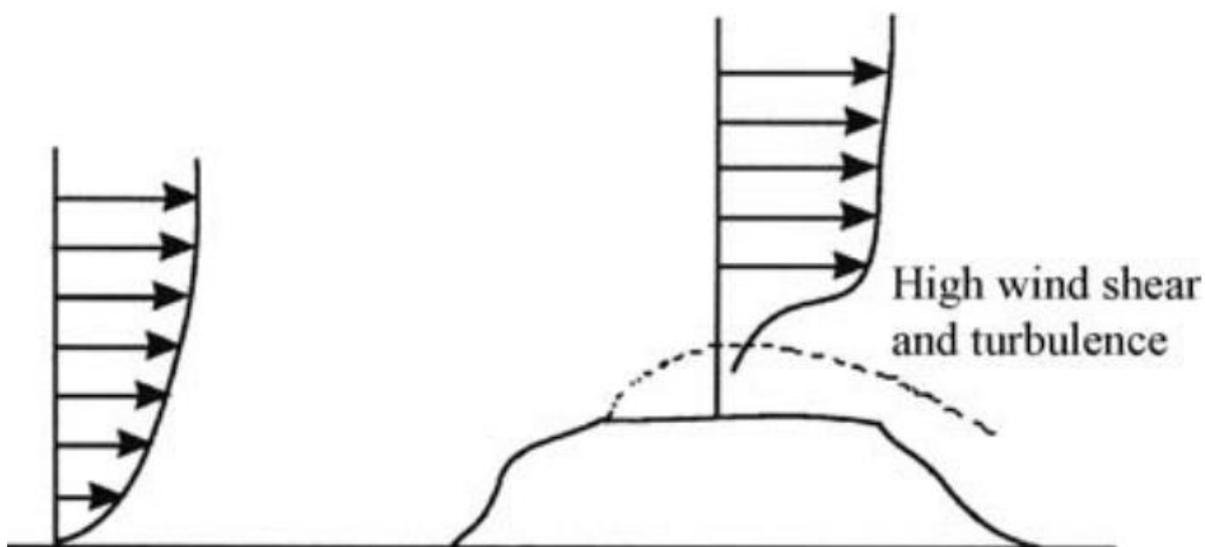


Figura 9: Exemplo de influência do terreno em gerador eólico.

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010)

Outro fator que influencia na geração de energia é a constância na direção dos ventos. Tal constância pode ser determinada empiricamente através da observação de características físicas do local estudado, como tendência de crescimento das árvores, ou cientificamente peça coleta de dados a longo prazo no local de estudo (ZUO; WANG; KANG, 2016).

Oscilações diurnas são aquelas no qual ocorrem com frequência de vinte e quatro horas. Exemplos destas variações são as brisas marítimas e ventos de vale. As variações com frequência inferior a vinte e quatro horas são chamadas de variações de curto prazo, tais como turbulências. Estas oscilações geralmente ocorrem com intervalo de minutos ou menos e são causadas por características do local, como o terreno e sua cobertura superficial (BOSCH; STAFFELL; HAWKES, 2017).

3.2.6. Potencial dos ventos

Tendo como ponto principal a velocidade dos ventos, este influenciando exponencialmente o potencial de geração de energia. Este potencial é resultante da equação da massa em relação ao período de tempo (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010):

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot U \quad (3)$$

onde:

A: área de seção transversal (m²)

A energia cinemática por unidade de tempo, P, é dada por (BURTON et al., 2001):

$$P = \frac{A \cdot \rho \cdot U^3}{2} \quad (4)$$

A real potência disponível na energia cinemática dos ventos a fim de ser utilizada em aéro geradores deve levar em consideração aspectos da turbina e pás. Na prática no máximo 45% da energia cinemática é convertida em energia elétrica, isto considerando os melhores aéro geradores disponíveis no mercado. (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010). Segundo Betz, o limite teórico de rendimento de um aéro gerador é de 59,26%. O autor utilizou-se de uma equação baseada no momento linear desenvolvida para calcular o desempenho de hélice naval (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Conforme citado por Manwell *et al.*, 2010, caso seja conhecido a média anual de velocidade dos ventos para uma determinada região, é possível traçar um mapa apresentado o potencial energético para esta área. Com a coleta de dados mais frequente, de hora em hora, U_i por exemplo, é possível estimar o potencial de geração de energia para cada intervalo de hora, valor este encontrado através da seguinte equação

$$\frac{\bar{P}}{A} = \frac{\rho \bar{U}^3 K_e}{2} \quad (5)$$

onde:

\bar{P} : potencial energético para determinado intervalo (W)

\bar{U} : velocidade média de vento neste intervalo (m/s)

K_e: fator de constância energética (1/h), definida por (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010, p. 34):

$$K_e = \frac{1}{N\bar{U}^3} \sum_{i=1}^N U^3 \quad (6)$$

onde:

N: número de horas em um ano, 8760 horas.

Segundo Manwell, 2010, valores para potencial energético por intervalo de tempo por área, do rotor, inferiores a 100 W/m^2 são considerados baixos, valores aproximados de 400 W/m^2 são considerados bons e valores superiores a 700 W/m^2 são considerados ótimos. Tal conceito define a classe de vento.

3.3. CAMADA LIMITE

Tendo por definição, a camada limite é a camada no qual a partir desta, a variação de velocidade no fluido é irrelevante, menor que 1%, ou seja, a velocidade do fluido nesta camada é 99% da velocidade do fluido no escoamento livre. (FICHAUX et al., 2011; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010) Na Figura 10 esta apresentado a representação da velocidade de vento quanto a interferência da superfície do solo sobre a mesma. Pudessemos observar que a medida que a distância do solo é aumentada quanto ao ponto a ser observado a variação da velocidade do vento reduz para tal (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

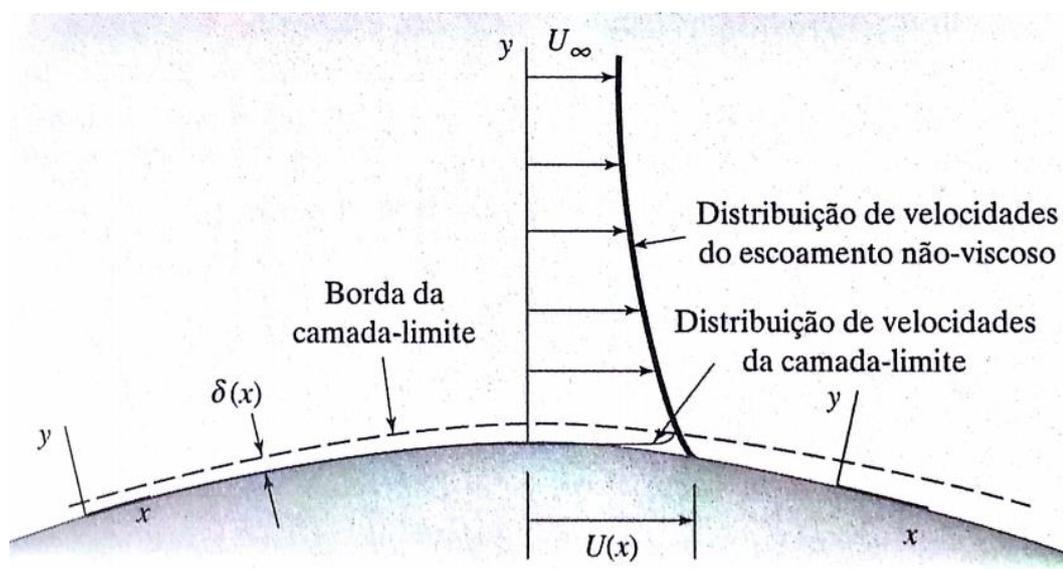


Figura 10: Camada limite sobre superfície curva.

Fonte: (POTTER; WIGGERT, 2004).

A aplicação deste conceito é utilizada quando se busca avaliar a velocidade do vento em uma altitude diferente à da coleta de informações meteorológica. Com isto é possível avaliar a capacidade de geração de energia de um aerogerador quando cogitado a instalação em uma torre mais ou menos elevada, buscado assim a condição ideal que atendam às necessidades de projeto. Tal escalonamento utiliza o conceito da camada limite e o Perfil Logarítmico (BALAKRISHNA et al., 2017; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Por definição, a camada limite utilizada para estipular a velocidade do vento aplicada a geradores eólicos é de 2000 metros. Assume-se que a partir desta altura a velocidade do escoamento de ar, vento, não sofrerá significativa alteração. Tal regra é aplicada quando se utiliza um perfil logarítmico para verificar a velocidade do vento em diferentes localidades, onde não há equipamentos de medição, ou onde quer se saber está velocidade a uma diferente altura (BURTON et al., 2001).

3.3.1. Perfil Logarítmico (*Log Law*)

O perfil logarítmico é uma ferramenta para escalonar a velocidade do vento para uma diferente localidade. Este método é utilizado nos casos em que não se possui informações específicas para localidade onde se deseja instalar os aerogeradores, porém possui-se informações referentes a outra localidade na região (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Esta equação leva em consideração a velocidade de fricção, U^* , a constante de Karman, k , a altura do local onde os dados foram obtidos, z , distância rugosa, z_0 . A equação que descreve a velocidade em uma segunda localidade é (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

$$U(z) = \frac{U^*}{k} \ln \left(\frac{z+z_0}{z_0} \right) \quad (7)$$

Para que a distância rugosa, descrita na equação acima, seja obtida a Tabela 4, extraída de obra *Wind Energy Explained*, de Manwell, 2002, é aplicada. Nesta, o autor cita que, a cobertura superficial do solo deve ser classificada dentre as apresentadas na mesma, desta forma o valor de z_0 pode ser verificado e aplicado na equação.

Tabela 4: Valores, aproximados, para distância rugosa por variedade da superfície.

Descrição do terreno	z_0 (mm)
Muito suave, gelo ou pântano	0,01
Calmo, mar aberto	0,20
Mar turbulento	0,50
Superfície com neve	3,00
Campo gramado	8,00
Pasto	10,00
Campo com plantação baixa	30,00
Plantações medias	50,00
Poucas arvores	100,00
Muitas arvores, alguns edifícios	250,00
Floresta	500,00
Subúrbio	1500,00
Centros de cidades com prédios altos	3000,00

Fonte: (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002)

Através da *Log Law*, além de poder se obter a velocidade do vento a uma diferente altura no qual foi mensurado, pode-se definir sua rapidez para uma segunda localidade a diferente altura. Para que isto seja feito, as seguintes relações devem ser aplicadas (BURTON et al., 2001; KAY, 2013):

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (8)$$

$$\frac{U(z)}{U(z_R)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_R}{z_0}\right)} \quad (9)$$

Onde z_r é a rugosidade na altura de referência, no qual a variação da velocidade do vento é nula no sentido longitudinal ao eixo y , altura, e z_1 e z_2 são a rugosidade do ponto medido e a mensurar, respectivamente (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

3.3.2. Turbulência

Sabendo que um escoamento pode ter por definição como laminar ou turbulento. O que difere estes dois estados de escoamento é a movimentação das partículas em seu volume. Basicamente, o escoamento turbulento é o qual as

partículas se misturam, há movimento de partículas no fluido não paralelo ao movimento principal do fluido como um todo, causando variação aleatória na pressão e velocidade (POTTER; WIGGERT, 2004).

Como já citado, a capacidade de gerar energia de um aerogerador depende da velocidade e constância do vento, logo zonas de turbulência acarretam em uma perda de rendimento da turbina (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

3.4. FUNÇÃO DENSIDADE PROBABILIDADE

A Função Densidade Probabilidade (FDP) é um gráfico onde apresenta em seu eixo vertical a probabilidade de geração de energia para uma determinada velocidade do vento. Para que uma curva de potência possa ser traçada, é necessário primeiramente verificar a faixa de velocidade de ventos no qual estará sendo trabalhado (KANYAKO; JANAJREH, 2015).

3.4.1. Cálculos probabilísticos de velocidade de ventos

Segue abaixo um exemplo de FDP, Figura 11, e abaixo descrita:

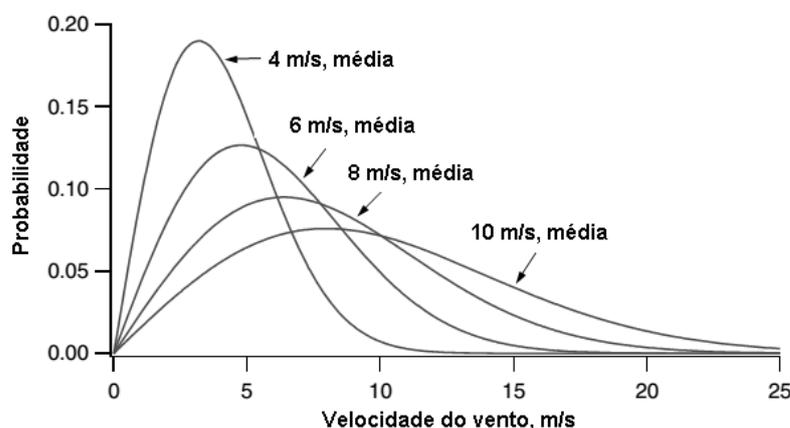


Figura 11: Exemplo de relação de probabilidade de Rayleigh.

Fonte:(MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010)

Distribuição *Rayleigh* se trata de um comparativo da porcentagem de ocorrência de uma variável em relação a esta variável. No ramo eólico, está

distribuição pode apontar, e é muito utilizada para tal, a probabilidade de chance do vento estar soprando a uma determinada velocidade (BURTON et al., 2001).

A distribuição gráfica de Rayleigh representa as diferentes curvas de distribuição de probabilidade de velocidade do vento. Sendo que para diferentes alturas a possibilidade de velocidade do vento sobe, como previsto e explanado no quesito da viscosidade e camada limite. A chance de a velocidade do vento ser mais elevada a uma altura superior é mais favorável (PISHGAR-KOMLEH; AKRAM, 2017).

Através desta distribuição, indo mais além, é possível verificar a distribuição desta probabilidade de ocorrência para outras velocidades. Isto se aplica no ramo da energia eólica quando se avalia diferentes alturas de hub. Tal distribuição é chamada de Distribuição de Weibull (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

As diferentes curvas no gráfico, Figura 11, apresentam as diferentes probabilidades para determinadas velocidades médias de vento, 4, 6, 8 e 10 metros por segundo. Esta curva é obtida através das seguintes equações, equação 10 e equação 11 (BURTON et al., 2001).

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k \right] \quad (10)$$

e

$$F(U) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k \right] \quad (11)$$

sendo que k é o fator de definição da distribuição, determinado pela equação 23 e c é o fator de escalonamento, está em função de k . Estes descritos por (WHITE, 2009, p. 56, 60, apud JUSTUS, 1978):

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1,086} \quad (12)$$

e

$$c = \bar{U} \left[0,568 + \left(\frac{0,433}{k} \right) \right]^{-\frac{1}{k}} \quad (13)$$

onde:

\bar{U} : velocidade média do vento (m/s)

σ_U : desvio padrão da velocidade do vento, dados por (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010)

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} U_i \quad (14)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N_i} (U_i - \bar{U})^2} \quad (15)$$

onde:

N_i : número de medições (adimensional)

U_i : velocidade do vento na medição i (m/s)

Com isto, a probabilidade da velocidade do vento esteja em uma faixa determinada é dada pela seguinte função (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010)

$$p(U_1 < U < U_2) = \exp \left[- \left(\frac{U_1}{c} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{U_2}{c} \right)^k \right] \quad (16)$$

E a possibilidade de ventos extremos sobre a determinada área é dada por (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010):

$$p(U < U_x) = 1 - \left(1 - \exp \left[- \left(\frac{U_x}{c} \right)^k \right] \right) = \exp \left[- \left(\frac{U_x}{c} \right)^k \right] \quad (17)$$

3.4.2. Potência

A potência média fornecida pelos ventos pode ser calculada levando em consideração a velocidade do vento, a área de extração de energia, peso específico do ar e potência dinâmica do rotor. Uma vez encontrado estes valores, tais podem ser aplicados nas seguintes fórmulas (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010, p. 63):

Potencial de geração de energia do gerador, levando em consideração a energia cinética disponível nos ventos, P_w :

$$P_w(U) = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta U^3 \quad (18)$$

onde:

η : eficiência do aerogerador (%)

C_p : Potencial de rendimento do rotor (%)

$$C_p = \frac{\text{Força do Rotor}}{\text{Força Dinâmica}} = \frac{P_{rotor}}{\left(\frac{1}{2}\right) \rho A U^3} \quad (19)$$

A fim de criar uma forma visual para melhor compreender a capacidade de geração de energia para uma determinada velocidade de vento, pode ser traçado o gráfico *weibull*.

3.4.2.1. Rendimento prático do gerador eólico

Combinando a distribuição de Rayleigh, derivada do gráfico de Weibull, com a curva de potência de um aerogerador, é possível assim estimar a capacidade teórica de geração média do mesmo. Porém, é ciência que geradores eólicos podem apresentar queda de rendimento geral devido a pausas. Estas pausas podem ser resultado de períodos destinados a manutenção. Outro fator que vem a influenciar o seu rendimento são ocasiões em que o vento sopra com velocidade abaixo da velocidade de início da geração ou superior a velocidade de corte para geração, normalmente 5 e 25 m/s respectivamente (BURTON et al., 2001; MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002).

3.5. Análise de Ciclo de Vida

A Análise De Ciclo De Vida (ACV) é um método para avaliar o impacto ambiental de um determinado produto. Sendo que o objetivo desta análise é verificar a energia demandada em um processo como um todo. (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012) Segundo Crawford, H.R. (2009), a análise de ciclo de vida deve envolver a avaliação de toda energia envolvida sobre toda vida útil do equipamento, foco do estudo. Isto inclui a demanda energética despendida no processo da

manufatura. Mais além, a possível troca de peças, durante manutenção prevista, gastos operacionais e destinação final do produto uma vez em desuso pode ser inclusa no estudo. Por outro lado, as energias geradas pelo produto, no caso de geradores, são responsáveis pelo *payback* energético do equipamento.

O tempo necessário para retorno do investimento também é conhecido como *Payback*. Este avalia o montante investido em um empreendimento, seja em uma escala energética (kW ou MJ) ou monetária, em relação à capacidade de retorno deste, nesta mesma unidade. Ou seja, o *payback* se trata do tempo levado para que o investimento se pague. *Payback*; termo é em inglês onde sua tradução literal é retorno do pagamento. Outro termo na mesma linha de avaliação é o *Payback Period*, sendo a tradução literal para este o período de retorno de pagamento. (AL-ANI, 2015) A energia, valor monetária, ou qualquer que seja a base desta avaliação, empregada no produto é chamado nesta análise de *embodied energy*. Quando se trata de tempo *payback* energético (TPE), dado em meses, a equação que pode quantificar este tempo é dada por (PEHARZ; DIMROTH, 2005):

O tempo de *payback* energético de um produto é definido por (PEHARZ; DIMROTH, 2005):

$$TPE = \frac{EE}{(E_p + E_g)R} \quad (20)$$

onde:

TPE – Tempo de Payback Energético (anos);

EE – Energia embutida (MJ);

E_p – Energia produzida em um ano de geração (kWh/ano);

E_g – Energia gasta durante a produção em um ano de geração (kWh/ano).

R – Fator de conversão de kWh para MJ (3,6 MJ/kWh) (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002)

O termo *embodied energy* quando se trata da energia incorporada, a energia necessária no processo, como um todo, de extração, fabricação, instalação, etc. Esta é importante graças a complexa cadeia que envolve o processo de fabricação,

transporte, extração, manufatura e todo estágio que leva ao produto a ser agregado ao produto final. No caso de produtos onde o retorno energético é a produção de energia elétrica, e a energia desprendida no seu processo pode ser calculada como trabalho, a unidade mais utilizada para levantamento desta energia total é o Joule (J) (CRAWFORD, 2009; GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012; ISLAM; SAIDUR; RAHIM, 2011).

Guezuraga, Zauner e Pölz (2012) defendem que o impacto causado, e analisado em uma análise de ciclo de vida, pode ser direto ou indireto. Os autores trazem a público que o impacto direto é causado especificamente no local onde o produto está sendo utilizado. Contextualizando para geração de energia eólica, este impacto é o causado no local onde o gerador foi instalado e está gerando energia. O outro tipo de impacto é nomeado impacto indireto, de forma que este é causado anteriormente a colocação em funcionamento do gerador. Este é decorrente a energia gasta na indústria de fabricação.

Segundo a normativa ISO 14040, a análise de ciclo de vida possui quatro estágios, sendo: “a) a fase de definição de objetivo e escopo, b) a análise de inventário, c) a fase de avaliação de impacto e fase d) a fase de interpretação.” (MARTÍNEZ et al., 2009).

A fase de definição do objetivo e escopo do projeto é também conhecida no ramo da engenharia como delimitação das condições de contorno. Nesta instância é levantado o processo no qual estará sendo tratado e todas as variáveis no qual podem contribuir para o resultado. O objetivo é determinado, a primeira instância, para que com isso seja possível dar início a tal estudo sem que o autor devaneie por tópicos irrelevantes (CORDEIRO, 2015).

Posteriormente, características básicas do produto a ser estudado são definidas. Especificações, local de fabricação, métodos de transporte, local a ser instalado, metodologia para instalação, manutenção, destino final e tudo que venha a interferir nestes processos (AL-BEHADILI; EL-OSTA, 2015).

Na ACV de um gerador eólico autores optam pela organização dos processos a serem passados através de um organograma. Este organograma tem

como linha de raciocínio as fases em ordem cronológicas do processo total. Seja para geradores de pequeno, médio e grande porte, para instalação de um único gerador ou criação de um complexo de geração, uma fazenda eólica. Esta metodologia é comumente tomada no ramo científico (MONTE; RACITI CASTELLI; BENINI, 2013; TREMEAC; MEUNIER, 2009; WEINZETTEL et al., 2009).

Mesmo quando utilizados softwares para realização desta análise a criação de organogramas é uma opção para apresentação desta avaliação, como utilizado e presente no trabalho de (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012). O autor apresenta a organização do processo a ser estudado em seu artigo levantando as etapas da vida dos componentes. Como apresentado na Figura 12, as flechas vermelhas simbolizam a geração de emissão de resíduos e a flecha azul representa a geração de energia elétrica.

Na primeira fase do gerador, primeiro retângulo na Figura 12, é levantado o processo de manufatura do gerador juntamente com seus componentes, o rotor, nacele, torre e fundação. Nesta primeira parte há apenas a geração de resíduos e nenhuma geração de energia, fato que se repete na segunda e quarta instância. No segundo retângulo, o transporte dos componentes e montagem do gerador é citado. A geração de energia, trazendo para a empreita o retorno, é encontrada na terceira instância. Neste ponto há a necessidade de gastos como operação e manutenção. Por fim, o descarte e reciclagem dos componentes após a vida útil do gerador é apresentada. Uma vez que o descarte ocorra, não há retorno de material para um novo processo. Porém, caso haja reciclagem de algum material, este pode ser empregado novamente no processo, como ilustrado pela flecha levando desta caixa para a seção entre o primeiro e segundo processo (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012).

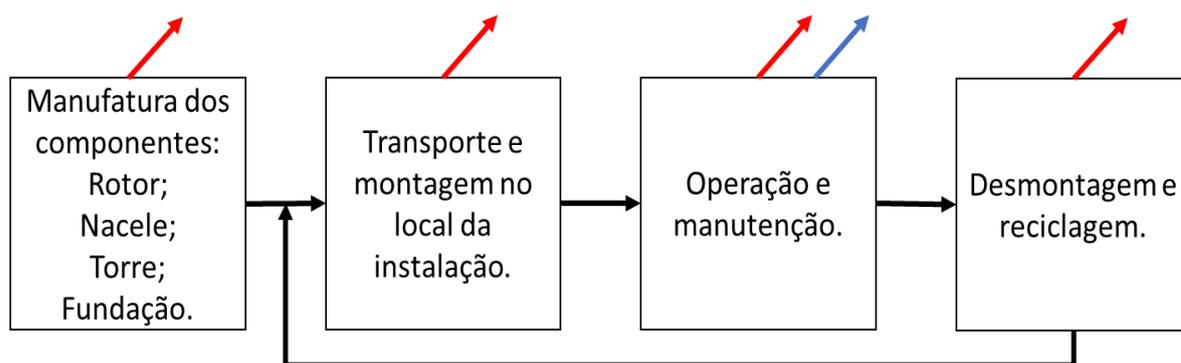


Figura 12: Organograma representativo das fases da vida de um gerador eólico.

Fonte: traduzido de (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012)

Desta maneira, cada instância do processo total pode ser analisada separadamente de uma maneira ordenada. A análise feita por Xu et al, 2017 apresenta um organograma, exposto na Figura 13, com diferente estrutura, quando comparado com o de Guezuraga, Zauner, and Pölz, 2012.

Neste segundo exemplo os componentes no qual compõem um gerador eólico não são apresentados separadamente. Como pode ser compreendido deste modelo, a produção da fundação é feita em diferente local da instalação do gerador. A menor quantidade de informação quanto a cada componente deste modelo comparado com o modelo anterior é recompensada, à nível de detalhes, quando analisado a fase de manutenção e operação, onde aqui voltasse a discutir o quesito transporte de peças para troca. O fator transporte volta a aparecer o último processo avaliado, o descarte dos materiais (XU et al., 2017).

A apresentação de organogramas é um método utilizado por diversos autores trabalhando nas ACV, podem, este método é sempre acompanhado de um descritivo da cada instância do processo para que com isso a avaliação completa seja possível (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012; XU et al., 2017).

Esta primeira fase do processo leva consigo, além do já apresentado, o levantamento quantitativo de cada item a ser avaliado. Quando se trata de energia desprendida no processo da manufatura, esta é quantificada de uma maneira geral levando como base de cálculo a energia necessária para manufatura por quilograma de material. Tal energia aqui também chama de *embodied energy*, previamente descrita. (CRAWFORD, 2009) Tais valores são apresentado e discutido posteriormente.

Seguindo o cronograma apresentado na norma ISO 14040, após a definição de objetivo e escopo, a análise de inventário vem por sequência. Neste estágio o levantamento de materiais é organizado de maneira a verificar mais profundamente o custo energético de cada componente. Uma listagem dos materiais empregados no processo construtivo, tal como concreto, madeira, aço e compósitos. Aqui é dada sequência nos estudos se utilizando das informações coletadas na primeira fase da análise do ciclo de vida, previamente abordada (WANG; TEAH, 2017).

Após levantamento da gama de matérias empregados no gerador eólico é verificado o custo energético na produção e manufatura destes materiais. Assim, com isso, é possível mais a diante calcular o custo por material e posteriormente o custo total energético do aerogerador. Lembrando que os materiais aqui levantados e seus respectivos custos aqui são apresentados, a primeiro plano, sem contabilizar

o valor agregado em sua manufatura, no qual, esta é quantificada e vem a somar o custo final. Este inventário de materiais está exposto na Tabela 20 do Anexo 1 (WANG; TEAH, 2017).

A destinação final dos materiais empregados na construção de um aerogerador pode ser parcialmente empregado em um novo gerador. Ou seja, é possível reciclar parcialmente partes matérias utilizados em geradores eólicos. Diferentes autores apresentam diferentes quantificações quanto a possibilidade de reciclagem destes produtos. Más, em geral o valor em porcentagem da possibilidade de reutilização da matéria prima é aproximado de autor para autor. Na tabela no qual apresenta a listagem de materiais utilizados no processo de fabricação e implantação do gerador estudado acompanha o valor percentual da possibilidade de reciclagem segundo alguns autores (MONTE; RACITI CASTELLI; BENINI, 2013; TREMEAC; MEUNIER, 2009; WEINZETTEL et al., 2009).

Por fim, segundo Savino et al. 2017, apud (ARDENTE et al., 2008; GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012), um gerador eólico supostamente tem sua vida útil de 20 anos. O autor também cita que durante sua vida, 15% de seus componentes, de modo geral, serão substituídos (SAVINO et al., 2017).

Dando sequência na ACV; a avaliação de impacto. Neste quesito, três grandes aspectos são tratados, quando avaliando geração e geradores eólicos, sendo estes: potencial de aquecimento global, energia cumulativa e tempo de *payback* (GUINÉE, 2002).

Por decorrência do passo acelerado no desenvolvimento industrial a produção de resíduos também vem crescendo constantemente. A produção deste lixo pode estar sendo responsável para o aumento na temperatura global. Devido ao fato desta informação não poder ser validada de forma definitiva, afirmando ou não que o aquecimento global é decorrente ao aumento na utilização de recursos naturais e produção de resíduos não recicláveis. O autor afirma que mais estudos devem ser dirigidos verificando mais variáveis que possam interferir no resultado (BONG et al., 2017).

De toda forma, a fim de pesquisa o equivalente da produção de gases no processo de fabricação de geradores eólicos é convertido para esta quantidade de gás de efeito estufa, ou GHG (Greenhouse Gas). Os principais GHG são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esta conversão é mensurada igualando em kgCO₂/kg, ou, CO₂ equivalente (CO₂e). A apresentação dos dados referente ao CO₂e para cada material empregado no aerogerador em estudo está exposto na Tabela 21, página 85, Anexo 1 (GUEZURAGA; ZAUNER; PÖLZ, 2012).

Seguindo esta mesma linha de estudo estão outros autores, sempre convertendo a geração de gases de efeito estufa durante toda vida de um gerador eólico para dióxido de carbono equivalente por quilowatt hora. Os mesmos avaliam a quantidade de CO₂e em relação cada material a ser empregado. Desta forma, uma vez possuindo em mãos a listagem completa de materiais, sua quantidade de material em porcentagem do peso total do gerador e a capacidade de geração de energia do aerogerador é possível quantificar dois fatores buscados nesta análise. Primeiramente, a quantidade de CO₂e desprendida no ciclo de vida. Dois, o tempo de *payback* referente ao impacto ambiental de GHG gerado (ASO; CHEUNG, 2015).

Neste último estágio a verificação de todos os dados coletados e trabalhados durante as fases preliminares são computados a fim de verificar os quesitos e fins traçados no início da pesquisa. Aqui os objetivos levantados no primeiro passo da ACV, proposto na resolução ISO 14040, no qual aborda todos os potenciais aspectos de impacto ambientais ao longo de todo um ciclo de vida do produto, compreendendo as atividades de extração e aquisição da matéria prima, bem como a produção, utilização, reciclagem e, por último, a disposição. Mais além, os possíveis cenários podem ser estudados buscando prognósticos quanto ao impacto ambiental e o tempo de *payback*. Ademais, comparações com outros estudos de diferentes ou iguais resultados podem ser realizados buscando melhor compreensão dos dados encontrados (FINKBEINER et al., 2006; GUINÉE, 2002; MARTÍNEZ et al., 2009).

3.5.1. Energia embutida

Como visto, para possibilitar o levantamento da energia embutida de um determinado produto é necessário o levantamento bibliográfico de sua energia

equivalente. O mesmo é realizado para levantamento de massa de carbono equivalente (GUINÉE, 2002).

Os dados de energia embutida e carbono equivalente para, os materiais empregados no aerogerador em estudo, estão expostos no Anexo 1, juntamente com a fonte bibliográfica do dado. A média, máxima e mínima de dos valores a verificados em bibliográfica estão expostos a Tabela 5 e Tabela 6 (BARROS; CORREA, 2003).

Tabela 5: Energia equivalente embutida por material (MJ/kg)

Aço	Alumínio	Borracha	CFRP	Cobre	Imã	Ferro	Polímero	Referência
40,4	155,9	84,9	261,8	69,3	376,3	25,4	86,8	Valor adotado
160,00	231,00	95,00	344,00	140,00	939,50	40,00	200,00	Máximo
10,30	34,80	67,50	234,00	0,00	31,30	6,00	12,70	Mínimo

Fonte: dados adaptados das fontes descritas no Anexo 1.

Tabela 6: Emissão de CO² equivalente por material (kgCO²/kg)

Aço	Alumínio	Borracha	CFRP	Cobre	Imã	Ferro	Polímero	Referência
2,55	10,99	3,18	21,59	4,47	54,10	2,09	4,51	Valor adotado
6,45	15,00	3,18	26,27	7,00	54,10	3,50	9,10	Máximo
0,52	3,16	3,18	16,90	1,53	54,10	0,75	1,66	Mínimo

Fonte: dados adaptados das fontes descritas.

Para que seja quantificado total da energia embutida e o CO²e de um determinado produto, através do levantamento mássico de cada material, a seguinte equação é aplicada (GUINÉE, 2002):

$$EE_{m_i} = (\sum m_{m_i}) \times EEI_{m_i} \quad (21)$$

onde:

EE_{m_i} – energia embutida para determinado material (MJ);

m_{m_i} – massa do respectivo material em cada componente (kg);

EEI_{m_i} – energia embutida por material (MJ/kg).

Resumidamente, a massa de cada material, em quilogramas, é multiplicada por sua respectiva energia equivalente embutida, mensurada em MJ/kg. Com isso é obtido a energia equivalente presente para cada material no produto final. Desta forma, a energia equivalente total (EE), dada em MJ, do sujeito avaliado é encontrado pela somatória de todas as energias equivalentes por material, sendo (FINKBEINER et al., 2006):

$$EE = \sum EE_{m_i} \quad (22)$$

3.5.2. Impacto ambiental na geração de energia

Segundo estudo aprestado por Miranda, 2012, diferentes fontes energéticas nacionais apresentam diferentes índices de geração de CO₂ equivalente por kWh produzido. Neste estudo a autora realizou um levantamento de estudos referentes a fontes energéticas nacionais, suas análises de ciclo de vida, e constatou que fontes termoelétricas são as com maior índice de poluição, neste parâmetro. A fonte com menor índice de poluição encontrada foi a nuclear, seguida pela eólica. Na Tabela 7 está apresentado os resultados encontrados pela autora.

Tabela 7: Comparativo de fator de emissão por fonte energética

Fonte energética	Fator de emissão (g/CO ₂ eq/kWh)
Hidroeletricidade	86
Eólica	16
Nuclear	14
Termo	805

Fonte: (MIRANDA, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Campus Cascavel da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE. As condições meteorológicas avaliadas para avaliação do retorno energético levaram em consideração informações fornecidas pelo SIMEPAR e coletadas na estação meteorológica da cidade de Cascavel, Paraná, Brasil.

4.1. MATERIAL

Os materiais utilizados na pesquisa, com exceção ao computador utilizado para realização dos cálculos, foram fornecidos pela instituição de ensino do programa de mestrado.

4.1.1. Aerogerador

Sendo como projeto proposto a análise de ciclo de vida de aerogerador instalado no Projeto Casa, UNIOESTE, campos Cascavel. Estando localizado, e instalado, na Rua do Feitor, número 06, Bairro Universitário, CEP 85819-370, Cascavel, Paraná. Tendo por coordenadas 24°59'21.908"S 53°26'59.291"O (GOOGLE INC., 2018; PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014).

Este aerogerador é da Greatwatt modelo S-600, com suas características apresentada na Tabela 8 e sendo o apresentado na Figura 14. Para que a análise do ciclo de vida pudesse ser realizada, o levantamento dos materiais utilizados para sua fabricação e seu respectivo peso teve de ser realizado. (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

Tabela 8: Especificações técnicas do aerogerador

Configuração	3 pás, eixo horizontal
Diâmetro do rotor	1,191 metros
Peso	6,3 kg
Tensão	12V/24V
Potência nominal 12V	400W
Potência máxima 24V	550 W
Velocidade do vento para start	3 m/s
Velocidade nominal para 12 V	12,5 m/s
Velocidade do vento para máxima potência	25 m/s

Velocidade limite

60 m/s

Fonte: editado de (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).



Figura 14: Aerogerador instalado no Projeto Casa, UNIOESTE.

Fonte: (PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014).

Exposto na Figura 15 as dimensões de projeto do aerogerador, conforme informações passadas pelo fabricante do produto (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

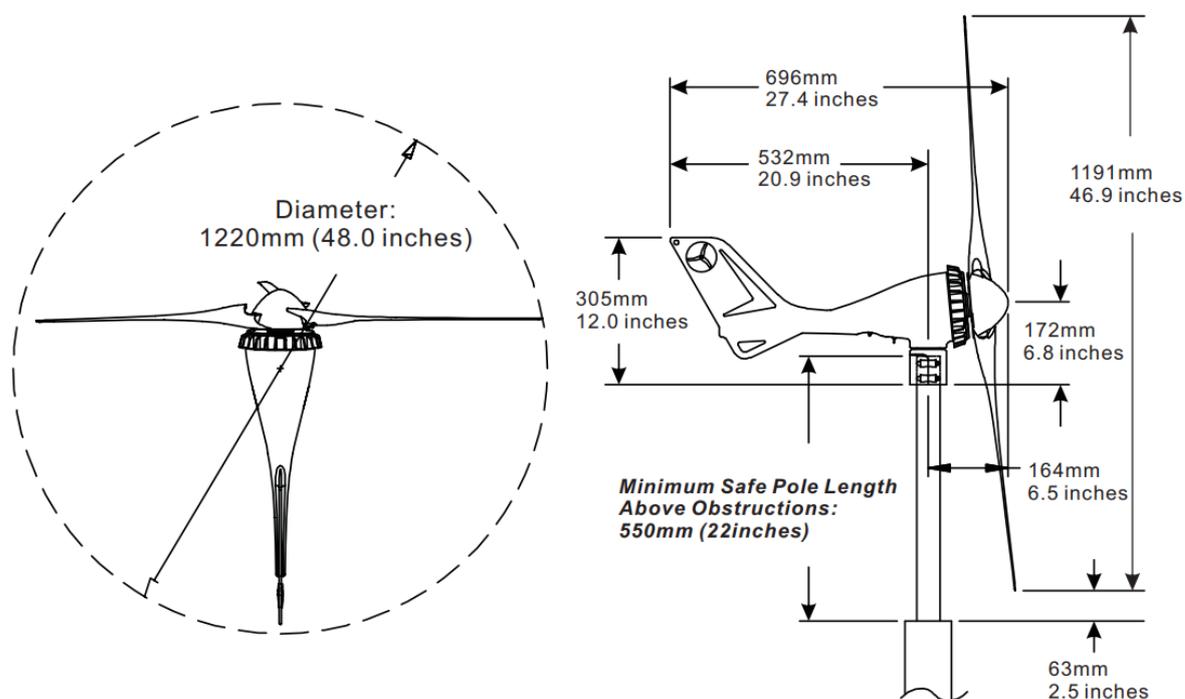


Figura 15: Dimensões do aerogerador.

Fonte:(GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

Disponível no Anexo 2 a lista completa dos componentes instalados no aerogerador e no Anexo 3 o manual técnico fornecido pelo fabricante do equipamento. No Anexo 6 e 7 estão apresentadas as imagens dos componentes do aerogerador. Outras informações sobre curva de potência quando funcionando a 12 e 24V, sistema de ligação com banco de baterias, recomendações de instalação, dentre outros, também estão lá expostos (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

4.1.2. Dados meteorológicos

Os dados avaliados nesta pesquisa tiveram como base informações repassadas pelo Simepar, Sistema de Meteorologia do Paraná. Sendo este órgão responsável pelo monitoramento e previsão do tempo, geração de laudos meteorológicos juntamente com o fornecimento de dados hidrometeorológicos no estado do Paraná, local de desenvolvimento da pesquisa. Na Figura 16, está apresentada a estação meteorológica do SIMEPAR (SIMEPAR, 2017).



Figura 16: Estação meteorológica do SIMEPAR.

Fonte: (GONÇALVES, 2007).

Esta estação está localizada a 719 metros acima do nível do mar (GONÇALVES, 2007) e é capaz de mensurar a humidade relativa do ar, nível pluviométrico, temperatura e velocidade dos ventos (JURACH, 2004).

Os dados meteorológicos analisados foram fornecidos pelo SIMEPAR, 2017. O intervalo entre as coletas foi de uma hora e estes abrangem um período de 10 anos. Sendo que, tais foram coletados entre 16/10/2007, 00:00 horas, a 17/10/2017 09:00. Estes tratam dos seguintes parâmetros: velocidade do vento (m/s), pressão atmosférica (hPa), direção do vento (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° ou 315° graus), umidade relativa (0~100%) e temperatura(°C) (SIMEPAR, 2018).

4.1.3. Paquímetro

Instrumento de medição destinado ao levantamento das dimensões dos componentes do aerogerador. Tendo este a seguinte característica: paquímetro digital da marca Mitutoyo®, modelo “ABSOLUTE” AOS Digimatic, código 500-196-30B, apresentado na Figura 17. Este paquímetro tem a capacidade de medição de 150mm, com resolução de 0,001mm e exatidão de $\pm 0,001$ mm. Para que os resultados neste processo fossem coerentes e com dimensões úteis, 3 amostragens foram mensuradas e a média destas foi utilizada (MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA., 2016, p. 8).



Figura 17: Paquímetro digital, modelo utilizado no processo de medição.

Fonte: (TECNO DIGITAL, 2017)

4.1.4. Balanças

Para que pudesse ser quantificada a massa de cada material presente no aerogerador estudado, a desmontagem do gerador foi realizada e cada componente foi pesado individualmente. Neste processo duas balanças foram realizadas, sendo uma da marca SHIMADZU, modelo BL3200H, e a outra da marca Marte, modelo AY220. Os detalhes das balanças estão expostos na Tabela 9 e na Figura 18 está exposto fotos das mesmas.



(a)

(b)

Figura 18: Balanças. A esquerda (a) balança da marca Marte e a direita (b) balança da marca Shimadzu.

Tabela 9: Balanças utilizadas para pesagem dos componentes

Balança 1
SHIMADZU CORPORATION
Analytical & Measuring Instruments Division
1, Nishinokyo-Kowabara-cho, Nakagyo-ku, Kyoto 604-8511, Japão
Balança eletrônica
BL 3200H
3200g
0,01g
171 x 240 x 75
2,2kg
±5 ppm/°C (10°C - 30°C)
5~40°C
AC:100~250VAC, 47~63Hz, Balança: 12VDC, 0,1A

Balança 2	
Fabricante	Marte Marte Balanças e Aparelhos de Precisão LTDA
Endereço do fabricante	Avenida Francisco Andrade Ribeiro, 430 Centro Santa Rita do Sapucaí Minas Gerais 37540-000
Produto	Instrumento de pesagem
Modelo	AY220
Capacidade	220g
Leitura	0,0001g
Dimensões do corpo (mm)	216 x 315 x 330
Peso do corpo	7,0kg
Estabilidade da sensibilidade	±2 ppm/°C (10°C - 30°C)
Temperatura aplicável	5~40°C
Alimentação	7Va(bivolt automática)

Fonte: adaptado de (MARTE (R), [s.d.]; SHIMADZU CORPORATION, 2008).

4.1.5. Windographer

Programa capaz de importar banco de dados e automaticamente detectar a estrutura organizacional. Os dados podem ser importados no formato .txt, NRG Systems, SecondWind, Ammonit, Campbell Scientific, Wilmers, SoDar, ASC, Troton, LiDar, Windcube, Pentalum, Zephir, 3Tier, AWS Trupower, Vortex e UK Met Office. Uma vez importadas as informações para análise, o software abre uma janela para melhor depuração dos dados importados e ajustes finais. Quando alimentado devidamente, esta plataforma é capaz de efetuar os mais diversos cálculos voltados a energia eólica, tais como criação da rosa dos ventos, médias de ventos, cálculos de ventos de rajada, curva de geração de energia, verificação de desempenho de aerogeradores, exportação de todas as informações para outros formatos, criação de gráficos e relatórios de uma forma interativa, etc. (LINARD, 2010).

4.2. MÉTODOS

Esta pesquisa abordou temas exploratórios de campo e documental(CERVO, AMADO LUIZ; BERVIAN, PEDRO ALCINO; SILVA, 2014). A metodologia da análise do ciclo de vida do aerogerador seguiu a proposta pela norma ISO 14040 (MARTÍNEZ et al., 2009). A avaliação da capacidade de geração de energia do gerador eólico seguiu avaliação proposta no livro Wind Energy Explained, de Manwell, 2010. (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010) Para que pudessem ser feitos os gráficos de distribuição de velocidade de vento por porcentagem o software Windographer® foi utilizado (LINARD, 2010).

Na Figura 19 está exposto o organograma com as tarefas seguidas realizadas para verificação das hipóteses levantadas nesta pesquisa. Tendo seu passo a passo explanado adiante.

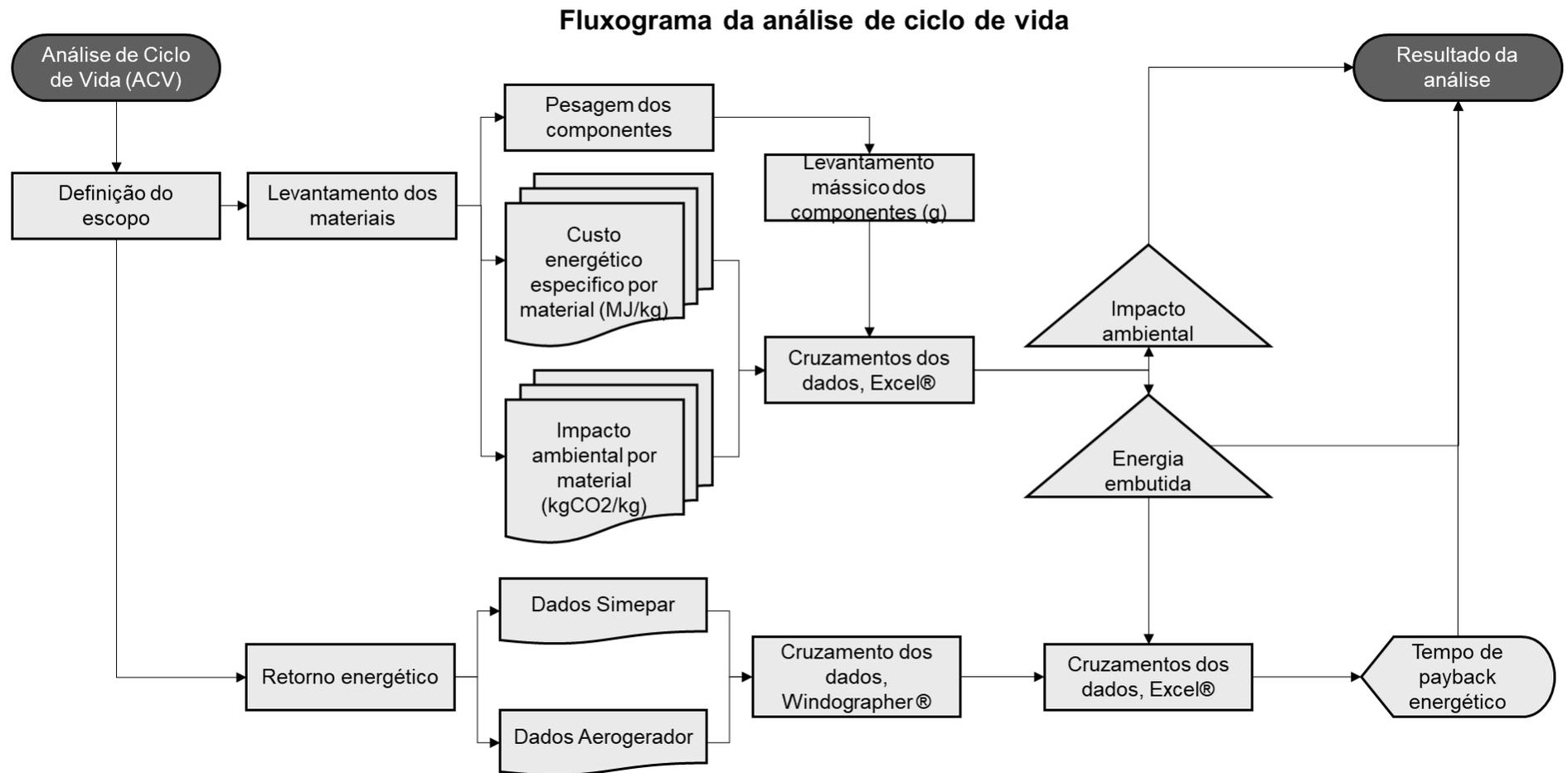


Figura 19: Fluxograma da linha de trabalho da ACV.

4.2.1. Local do estudo

O local de instalação do aerogerador durante o período de coleta de dados, realizado pelo Simepar, foi no Projeto Casa, Uniãoeste. Todavia, graças ao fator que os dados meteorológicos foram coletados em outra localidade, fatores de interferência de cobertura superficial de terreno e topografia vem a acarretar em condições distintas para geração de energia. Assumiu que, por quesito de estudo, o aerogerador estivesse instalado e em funcionamento no exato local de coleta de dados, estação meteorológica do SIMEPAR (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2002; PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014).

4.2.2. Análise de ciclo de vida

Seguindo a metodologia proposta pela norma ISO 14040, a análise do ciclo de vida segue os seguintes passos: Levantamento do material empregado; Quantificação dos materiais; Levantamento bibliográfico da energia embutida; Verificação do custo energético por componente; Verificação do custo energético total do aerogerador (PEHARZ; DIMROTH, 2005).

4.2.2.1. Levantamento dos materiais

O levantamento do material empregado no aerogerador se deu durante o processo de desmontagem e pesagem das peças. Uma lista completa de cada componente foi realizada, Anexo 1, com suas respectivas funções, materiais e massa. Uma vez pesados todos os componentes e criado uma tabela em Excel® o tratamento dos dados se deu a fim quantificar a massa total, em gramas, de cada material.

Sendo que para quantificação da energia embutida e geração de gás de efeito estufa toma como base a matéria prima utilizada na fabricação, uma definição detalhada de cada componente foi realizada. Esta tomou como base informações fornecidas pelo fabricante e bibliografia voltada a elementos de máquina:

- Aço: Aço carbono (MELCONIAN, 2012);
- Alumínio: Alumínio fundido (MORO; AURAS, 2007);

- CFRP (Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono, *Carbon Fiber Reinforcep Polymer*): Conforme informação fornecida no manual fabricante do aerogerador (GREATWATT ENERGY, [s.d.]);
- Cobre: Bobina do aerogerador (OLIVEIRA, 2009);
- Imã: Neodímio (OLIVEIRA, 2009);
- Ferro: Utilizou-se como base Ferro fundido nodular (MELCONIAN, 2012);
- Polímero: Levou-se em consideração o polietileno, por ser um polímero de baixa nobreza (BAI et al., 2013; SONG; YOUN; GUTOWSKI, 2009).

Estabelecido a definição dos materiais empregados, o levantamento de seu custo energético e impacto ambiental foi realizado (MANTOAM, 2016; SPOSTO; CALDAS; NETO, 2016).

4.2.2.2. Cálculo da energia embutida.

Para que possa ser verificada a energia embutida para cada material, os cruzamentos dos dados de valor energético específico devem ser cruzados com a massa de cada material empregado no aerogerador. A massa de cada matéria foi obtida através da pesagem dos componentes. A saber:

1. Desmontagem: aerogerador foi retirado do local de instalação, Projeto Casa (PARIZOTTO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2014), trazido ao laboratório de Solos e desmontado;
2. Organização: as peças foram separadas na bancada de forma a agrupar aquelas fabricadas de mesmo material e massa semelhante.
3. Classificação: em uma planilha em Excel® as peças foram classificadas e escritas, conforme sua função, material e massa (kg):

- a. As peças do circuito eletrônico foram agrupadas em uma lista, Lista 1 na Tabela 22, e enumeradas. Estas estão apresentadas no Anexo 6.
 - b. As outras peças de pequeno porte do aerogerador foram agrupadas na outra lista, Lista 2 na Tabela 22, e enumeradas. Estas estão apresentadas no Anexo 6.
4. Pesagem: aquelas peças que foram fabricadas com o mesmo material e massa semelhante foram pesadas juntas e sua massa foi dividida pelo número de itens da respectiva pesagem. Estas estão exposta na coluna Peças na pesagem da Tabela 22.
- a. As peças que não puderam ser desmontadas por completo, como o Eixo Horizontal e Carcaça e Enrolamento Estatórico foram pesadas juntas e quantificada especificamente posteriormente.
5. Para que a massa específica dos materiais, nas peças que não puderam ser pesadas separadamente, fosse verificado, segue o seguinte roteiro:
- a. Representação gráfica para quantificação das peças que não puderam ser pesadas separadamente.
 - i. Verificação das dimensões dos materiais para desenvolvimento de desenho 3D, utilizado o software SolidWorks®.
 - ii. Verificação das dimensões de outro componente, fabricado com o material, que se deseja verificar a massa específica, Componente Prova (CP).
 - iii. Verificação do volume (mm^3) de ambas as peças desenhadas nos processos i e ii. Neste processo a ferramenta <Propriedades de Massa – Volume> do

software SolidWorks® foi utilizada (DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION, 2018).

iv. Verificação da massa do componente tirado como prova.

6. A massa específica do material é dada pela seguinte equação, inserida no Excel® (TIPLER; MOSCA, 2009):
7. Uma vez verificado a massa específica de um componente constituído, inteiramente e uniformemente, do mesmo material; este valor foi utilizado para verificação da massa, deste material, do componente constituído de mais de um material. Reduzindo a massa deste material da massa total, é possível verificar o valor mássico do segundo elemento.

Os passos 5, 6 e 7 da lista descrita previamente foram utilizados para verificação da massa de Neodímio, no componente EIXO HORIZONTAL, e Cobre, no componente CARÇAÇA E ENROLAMENTO ESTATÓRICO (ambos na Tabela 22). O componente escolhido como CP foi ELEMENTO DE FIXAÇÃO DO HUB NO MASTRO. As dimensões dos componentes foram verificadas com o auxílio de um paquímetro.

1. Devido ao fato do volume dos componentes analisados serem muito inferior a 1m^3 ; foi alterado o modo de apresentação de volume padrão do SolidWorks®, passado de metros cúbicos para milímetros cúbicos (DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION, 2018):
2. Devido ao fato do volume dos componentes analisados serem muito inferior a 1kg ; é alterado o modo de apresentação de volume padrão do SolidWorks®, passado de quilograma para gramas (DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION, 2018).

Uma vez levantado e quantificado, todo o material empregado no aerogerador, em unidade de massa (kg), a energia embutida e carbono equivalente

é ser calculado. Para isso se toma como base o custo energético específico para cada matéria prima e o levantamento do CO₂e , disponíveis na Tabela 5, p.39, e na Tabela 6, p.39 (GOULART COELHO; LANGE, 2016; GUINÉE, 2002).

Tabela 10: Massa por material encontrada no aerogerador e sua respectiva participação na massa total.

Material	Peso total (g)	% do total
Aço	919,246	15,3
Alumínio	2978,74	49,7
Borracha	10,2247	0,2
CFRP	547,46	9,1
Cobre	1336,87	22,3
Ferro	4,0278	0,1
Neodímio	125,17	2,1
Polímero	72,1413	1,2
Total	5993,88	100,0

4.2.3. Retorno energético

A avaliação do retorno energético do empreendimento seguiu as seguintes diretrizes: levantamento de dados meteorológicos; tratamento prévio dos dados; cálculos.

Levantamento de dados meteorológicos pertinentes a avaliação da capacidade de geração e energia eólica. Estes dados, como já citado, foram fornecidos pelo SIMEPAR. Sendo que estes dados apresentam informações quanto a velocidade do vento, temperatura, massa específica do fluido e direção do vento a cada determinado intervalo de coleta (SIMEPAR, 2017).

Posteriormente, com estes dados, previamente descritos, em mãos; um tratamento prévio foi realizado. Nesta instancia todos os valores fornecidos pelo SIMEPAR foram introduzidos no software Windographer® e funções do sistema foram utilizadas com o âmbito de verificar possíveis dados fictícios, como velocidade negativa ou exorbitantes de ventos, períodos sem coleta de dados ou qualquer informações errôneas que viesse a desqualificar a análise final (LINARD, 2010).

Em seguida os cálculos foram realizados. Tal utilizou informações meteorológicas, que foram inseridas no software juntamente com informações referentes a capacidade nominal de geração de energia do aerogerador trabalhado. Nesta fase o software efetua equações de capacidade de geração de energia para cada intervalo de coleta, levando em consideração o aerogerador a ser estudado e a altitude de sua instalação. Desta forma, pode ser quantificado a capacidade de geração de energia do aerogerador se em operação naquele instante (BALAKRISHNA et al., 2017).

4.2.3.1. Energia produzida

A capacidade de geração de energia foi avaliada levando em consideração as informações repassadas pelo Simepar. Tal avaliação verificou a hipótese no qual o gerador estivesse em operação durante o intervalo total das coletas. A curva de potência fornecida pelo fabricante do aerogerador do aerogerador foi utilizada. Os cálculos foram realizados pelo software Windographer®, este no qual segue metodologia descrita no corpo desta pesquisa. Os detalhamentos das ferramentas foram aqui introduzidos à fim de possibilitar uma replicação da pesquisa, caso seja julgado pertinente.

4.2.3.1.1. Introdução dos dados meteorológicos

No programa Windographer as análises e tratamentos dos dados coletados pelo Simepar foi realizado. Neste programa os dados de velocidade média do vento, direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica foram inseridos a partir do formato .txt. As descrições das unidades de trabalho foram ajustadas e a ferramenta *fill gaps* foi utilizada. A ferramenta *fill gaps* tem a finalidade e preencher, de forma estatística, os intervalos faltantes, quanto a coleta de dados. Com isto, na instância de análise de capacidade de energia gerada em respectivo instante o valor energético pode ser extraído. Caso contrário, neste instante, onde a coleta de dados foi falha ou inexistente, o programa entende que não foi gerado energia, resultando em uma capacidade de geração em intervalo de tempo inferior a real (LINARD, 2010).

Ademais, o programa Windographer utiliza dois métodos de preenchimento de dados quando utilizado a ferramenta *fill gaps*, sendo: Algoritmo de Reconstrução e Algoritmo Markov. O Algoritmo de Reconstrução é destinado para parâmetros de velocidade e direção do vento e temperatura. Já o Algoritmo de Markov é o responsável para criar um perfil sazonal, onde é utilizado pelo algoritmo previamente descrito para geração de valores coerentes e que não venham afetar a variação global dos valores utilizados (ALFREDO SPEDICATO et al., 2016; LAMBERT, 2017a).

Devido ao fator que, quanto a direção do vento, a coleta de dados fornecidas pelo SIMEPAR tem como base 8 pontos o parâmetro direção dos ventos padrão de coordenadas para rosa dos ventos teve de ser alterado de 12 para 8.

4.2.3.1.2. Introdução dos dados do aerogerador

Uma vez estabelecido as condições de ventos para a localidade no qual a análise de ciclo de vida foi estabelecida, a condição de geração do aerogerador analisado deve ser inserido. Devido ao fato que tal gerador não tem seus dados no banco de dados do programa, a edição manual deve ser realizada. Nesta edição a informação do aerogerador devem ser inseridas de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante do produto. As informações solicitadas pelo Windographer ® e inseridas estão disponíveis na Tabela 11.

Os dados de capacidade de geração, ineridos nas opções de configuração do software utilizado, tiveram como base informação extraída do gráfico de curva de potência disponibilizado pelo fabricante do aerogerador, Figura 20 (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

Tabela 11: Detalhes do aerogerador inserido no Windographer

Informações gerais		
Descrição:	S-600(12V)	S-600(24V)
Fabricante:	GREATWATT ENERGY, LTD.	
Website:	www.greatwatt.com	
Autor:	Miranda, Amauri Ghellere Garcia	
Fonte dos dados:	Gráfico do fabricante	
Anotação:	Este gerador foi criado para a tese de mestrado em Engenharia de Energia Renovável.	

	A configuração para o rotor foi configurada para gerar uma corrente de 12V.	A configuração para o rotor foi configurada para gerar uma corrente de 24V.
Diâmetro do rotor:	1,191 m	
Potência nominal:	0,4 kW	0,6kW
Controle de potência:	Controle por stall	
Altura do <i>hub</i> :	10, 15, 20, 25 e 30 m	
Densidade do ar:	1225 kg/m ³	

Tabela 11: Continuação

Capacidade de geração:			
S-600 (12V)		S-600 (24V)	
Velocidade do vento	Potência de saída	Velocidade do vento	Potência de saída
(m/s)	(kW)	(m/s)	(kW)
0.00	0.000	0.00	0.000
1.00	0.000	1.00	0.000
2.00	0.000	2.00	0.000
3.00	0.000	3.00	0.000
4.00	0.025	4.00	0.020
5.00	0.060	5.00	0.050
6.00	0.110	6.00	0.095
7.00	0.160	7.00	0.150
8.00	0.220	8.00	0.220
9.00	0.275	9.00	0.300
10.00	0.330	10.00	0.400
11.00	0.375	11.00	0.500
12.00	0.400	11.50	0.560
13.00	0.408	12.00	0.600
14.00	0.415	13.00	0.612
15.00	0.423	14.00	0.623
16.00	0.431	15.00	0.635
17.00	0.438	16.00	0.646
18.00	0.446	17.00	0.658
19.00	0.454	18.00	0.669
20.00	0.461	19.00	0.681
21.00	0.469	20.00	0.692
22.00	0.477	21.00	0.704
23.00	0.485	22.00	0.715
24.00	0.492	23.00	0.727
25.00	0.500	24.00	0.738
25.00	0.000	25.00	0.750
		25.00	0.000

Fonte: editado de (BALAKRISHNA et al., 2017; GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

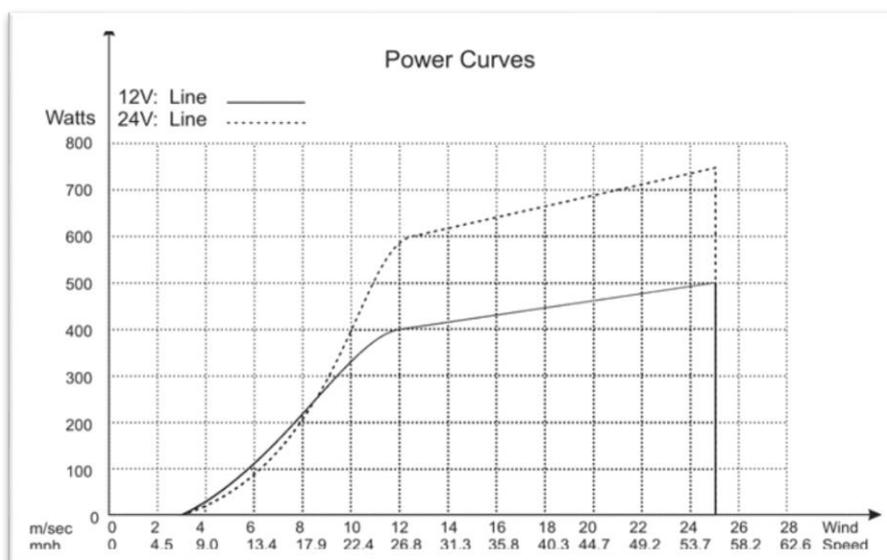


Figura 20: Curva de potência do aerogerador.

Fonte: (GREATWATT ENERGY, [s.d.]).

4.2.3.1.3. Cruzamentos dos dados do aerogerador com condições de ventos

Uma vez as informações do aerogerador, a ser estudado, e os dados das condições de trabalho inseridas no Windographer, a extração dos dados referentes a capacidade de geração e energia é realizada. Para isso, a avaliação deve seguir os seguintes passos. Seleção do aerogerador a ser estudado e sua respectiva altura de *hub*, através da ferramenta *Wind Turbine Output* (BALAKRISHNA et al., 2017). Nesta instância as condições de avaliação foram selecionadas seguindo referência a instrução fornecida pelo tutorial do software (LAMBERT, 2017b). Estes parâmetros estão expostos na Tabela 12.

Tabela 12: Parâmetros adotados para avaliação de retorno energético do aerogerador

Descrição	Opção tomada	Fator de perda (%)
Disponibilidade	A turbina fique em operação todo o tempo, sem interrupções	0
Efeito sobre	Não terá outras turbinas ao seu redor, que venham a acarretar na perda de potência devido ao efeito sombra.	0
Perda de performance	Assumindo que a potência informada pelo fabricante será mantida em sua vida útil	0

Perda sistema elétrico	Instalação elétrica sem perca.	0
Intempéries	Não cogitadas	0
Imprevistas	Não cogitadas	0
Outras perdas	Não haverá paradas	0

Com isto, a capacidade de geração de energia é calculada pelo software. Possibilitando assim verificar dados de capacidade de geração de energia, se em operação, a cada período de coleta.

4.2.3.2. Tratamento dos dados e cálculos iniciais

Os dados fornecidos pelo SIMEPAR alimentaram uma planilha Excel®. Tal tarefa teve como objetivo verificar possíveis erros, falta de informações e organizar as informações em um só lugar, sendo que foram enviados arquivos separados para velocidade, direção, temperatura e pressão atmosférica. Resultando em uma planilha contendo: 86202 coletas de velocidade do vento, 86027 coletas de temperatura, 86196 coletas de pressão atmosférica, 85680 coletas de umidade relativa do ar e 86189 coletas de direção do vento. Totalizando 430294 dados coletados (SIMEPAR, 2018).

Uma vez finalizados a tarefa de tratamento dos dados coletados, um arquivo no formato “.txt” foi criado. Isto se deve ao fato que o programa Windographer® adota este formato como um dos métodos de alimentação de dados. Este formato, também, foi selecionado graças ao fato que em está extensão o arquivo apresenta um tamanho reduzido. Desta forma podemos otimizar a velocidade de processamento do software (BALAKRISHNA et al., 2017).

Com os dados importados no Windographer, através da opção *Append*, foi configurado o banco de dados (*configure data set*). Nesta tarefa, as informações, disponíveis no arquivo importado, foram nomeadas conforme padrão utilizado no programa. Isto se trata de, informar o software o que é cada informação inserida, sua forma de coleta e em qual escala está disposta (LAMBERT, 2017b).

- Direção do vento: coletada a 10 metros de altura e está disposta em graus;

- Pressão: coletada a nível do solo e disposta hectopascal (hPa);
- Temperatura: coletada a nível do solo e disposta em graus Celsius (°C);
- Velocidade: coletada a 10 metros de altura e está disposta em metros por segundo (m/s);
- Umidade relativa do ar: coletada a nível do solo e disposta em porcentagem (%).

A ferramenta *Flag By Scatted Plot* foi utilizada para exclusão de valores extremos e insensatos. Sendo temperaturas superiores a 70°C e umidade relativa superior a 100%. Assim, excluindo estes valores da coleta (LAMBERT, 2017b; TAVARES; LAMBERTS, 2008).

Posteriormente, a ferramenta *Fill Gaps* foi utilizada. Esta tem a função de preencher intervalos nos quais a coleta não foi realizada, espaços em branco na coleta de dados, juntamente com busca possíveis erros de coleta. Esta etapa tem por finalidade melhor depurar os dados apresentados buscando uma análise limpa (TAVARES; LAMBERTS, 2008).

Desta forma, a simulação da possível capacidade de geração de energia, se em operação durante o tempo avaliado, do aerogerador pode ser realizada, tendo como resultado os dados apresentados na Tabela 13. A descrição detalhada do resultado coletado nesta etapa está exposta no Anexo 4.

Tabela 13: Relatório básico de geração

Turbina		S-600 (12V) (10m)	S-600 (24V) (10m)
Tempo válido dos dados	(%)	4,09	4,09
Velocidade média do vento	(m/s)	30,83	30,83
Percentagem do tempo a zero	(%)	0	0,07
Percentagem do tempo a nominal	(%)	3504	5256
Potência de saída	(kW)	386	355
Geração anual	(kWh/ano)	1389,6	1278

Sendo que a geração anual foi calculada seguindo a seguinte equação (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010):

$$\text{Geração anual} = \text{capacidade média de geração} \times 8760 \quad (23)$$

Mesmo a capacidade de geração apresentada na Tabela 13 ser zero, está apresenta valor muito baixo no qual o software passou a não informar devido a configurações de arredondamento. A multiplicação por 8760 diz respeito a quantidade de horas em um ano, sendo que a capacidade de geração é mensurada pelo software em kWh.

4.2.4. Análise Final dos Dados

Após o levantamento dos dados meteorológicos de tratamento dos dados, para introdução no software Windographer®, a curva onde apresenta a velocidade dos ventos em relação à porcentagem de sua ocorrência pode ser criada. Com esta foi possível utilizar a velocidade do vento a cada instante da coleta e aplicar esta na curva de potência do aerogerador para com isso verificar a capacidade de geração de energia do aerogerador instalado em Cascavel, Paraná. A curva de potência fornecida pelo fabricante do aerogerador apresentava os dados de uma forma gráfica, previamente apresentada na Figura 20. Com isto, o retorno energético pode ser obtido através da utilização da curva de potência do aerogerador, introduzida de forma numérica (não gráfica como fornecido pelo fabricante) no software de análise, Windographer®. Também foi introduzido neste mesmo programa os valores meteorológicos fornecidos pelo SIMEPAR. Desta forma, a capacidade de geração energética foi calculada, para o período pertinente aos dados utilizados, sabendo assim quanto de energia média anual este aerogerador seria capaz de produzir caso em operação no tempo avaliado. Uma vez tendo em mãos o custo energético do gerador eólico, é possível calcular o tempo de payback energético deste produto, através da equação 20, página 32 (FINKBEINER et al., 2006).

Sendo que o retorno energético foi o avaliado levantado em kWh por mês e o custo energético, o avaliado na análise do custo de vida do aerogerador, foi calculado em MJ e convertido para kWh. Desta forma, a unidade de payback é dada em meses.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1. Materiais empregados no aerogerador

Os materiais, com massa significativa para quantificação de energia embutida, encontrados fora: Aço, Cobre, Ferro, Polímero, Borracha, Neodímio, Alumínio e CFRP (GREATWATT ENERGY, [s.d.]; MELCONIAN, 2012; OLIVEIRA, 2009).

Outros materiais estavam presentes no produto, tal como resina, plástico envoltório da fiação e componentes eletrônicos específicos. Contudo, estes não foram quantificados, graças ao fator que não puderam ser separados na pesagem e/ou não apresentavam massa relevante para o resultado final. Esta limitação não viria a alterar significativamente o resultado final da análise, sendo que a massa destes componentes é ínfima quando comparada a massa total do aerogerador, como apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Participação dos componentes do circuito eletrônico na massa total.

Componente	Massa (g)	% do total
Placa do circuito eletrônico	71,32	1,19%
Aerogerador	5993,88	100%

4.3.2. Levantamento mássico dos materiais

A uma primeira instância a hipótese de utilização dos valores de massa específica fornecida pelo software CAD/CAE SolidWorks® foi cogitada. Todavia, uma vez transferidos as informações dimensionais do elemento corpo de prova (CP), verificou-se que há discrepância no valor de massa informado pelo bando de dados do software SolidWorks®. Sendo que a massa informada pelo programa, após selecionar o material Alumínio Liga 1060, que possui massa específica de 2700kg/m^3 , foi de 171,92g e a massa constatada na pesagem foi de 158,24. As informações dimensionais do CP estão expostas na Figura 21.

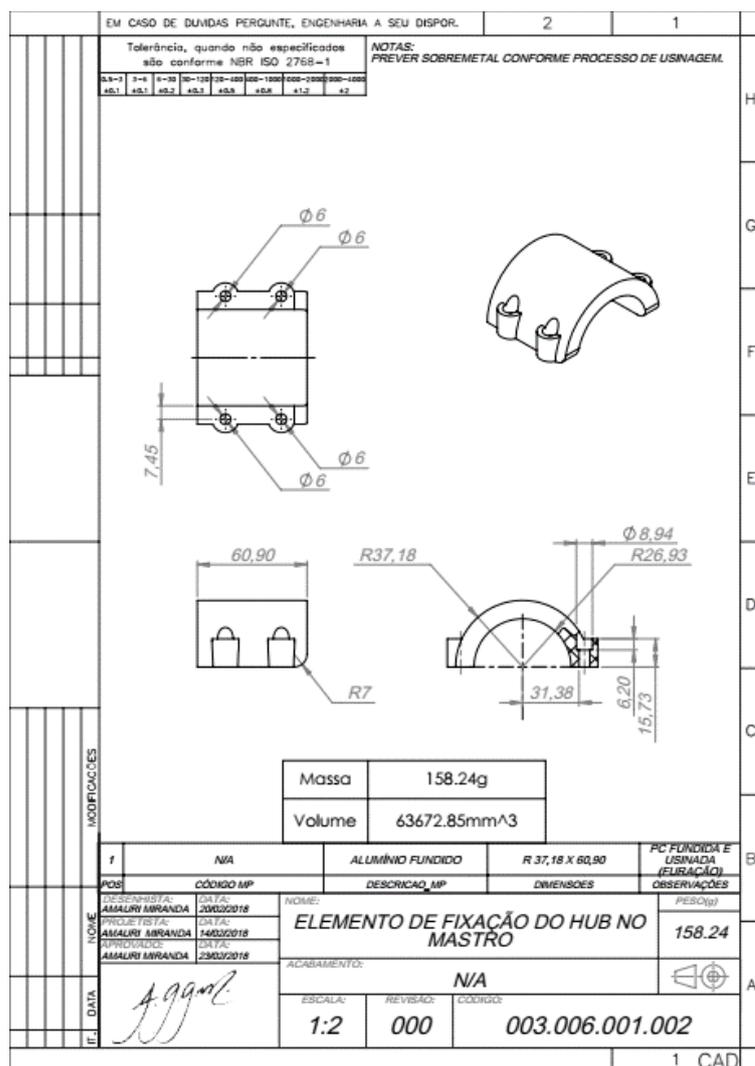


Figura 21: Representação gráfica do Elemento de fixação do hub no mastro.

Esta diferença entra a massa específica mensurada através da pesagem e volume da peça com a informada pelo software pode ser decorrente da aplicação de outro material na fabricação desta peça, não o Alumínio Liga 1060. Outras duas hipóteses foram levantadas. Uma, há presença de impureza na liga do material ou, segundo, a presença de bolhas no processo de fundição da peça (MORO; AURAS, 2007).

Desta forma foi verificado que a massa específica do material utilizado na fundição é de 2485,20 kg/m³. Valor este inserido nas propriedades de um novo material, no banco de dados pessoal do SolidWorks®, sendo este o empregado como material para as outras peças estudadas (DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION, 2018).

A representação gráfica em CAD, sigla para *computer aided design* (design assistido computacionalmente), no SolidWorks®, dos componentes SUPORTE DO ESTATOR foi realizado de forma a representar com máxima fidelidade a peça real. O desenho em 2D e 3D das peças está exposto na Figura 22 (DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION, 2018).

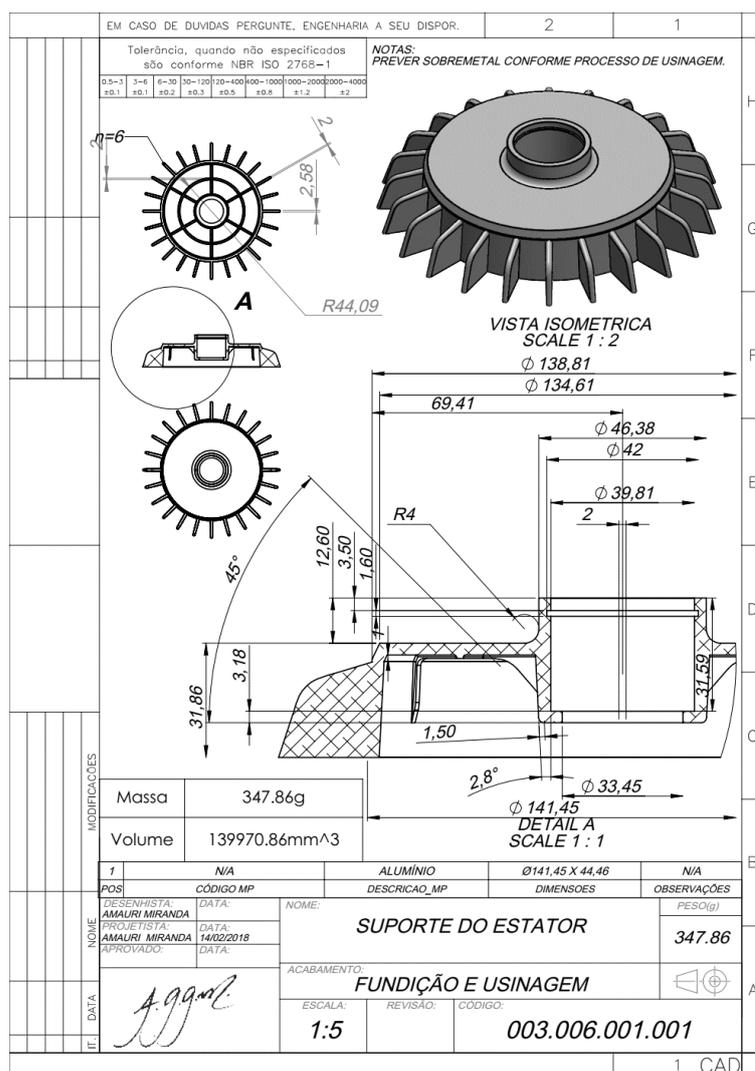


Figura 22: Representação do suporte do estator.

Tendo definido as propriedades do material empregado na fundição de alumínio, e após introduzir dimensões coletadas nas peças, conforme citado previamente, o valor mássico de alumínio ($M_{\text{alumínio}}$) foi verificado, sendo 347,86g. Desta forma, sendo que a massa total (M_{total}), verificada na pesagem, foi de 1406,44g, a massa do estator, cobre, é dada por:

$$M_{\text{cobre}} = M_{\text{total}} - M_{\text{alumínio}} = 1406,44 - 347,86 = 1058,58 \text{ g} \quad (24)$$

Resultando em uma massa de cobre (M_{cobre}) de 1058,58g. Valores estes apresentados na Tabela 15.

Já a massa específica do aço, utilizado na fabricação do eixo horizontal, não pode ser constatada seguindo o roteiro utilizado para o alumínio. Sendo que este material foi empregado apenas neste componente. Todavia, visto em revisão bibliográfica, o valor mássico do eixo horizontal foi obtido através de seu volume e massa específica do aço ASTM 1045 trefilado. Seu volume foi obtido através do software SolidWorks®. A montagem do eixo horizontal está apresentada na Figura 23. Para que a massa de cada componente fosse verificada, a massa específica dos materiais foi introduzida no software, seguindo referência bibliográfica apresentada na revisão (6800kg/m³ para o neodímio e 7850kg/m³ para o aço). (FERREIRA; COSTA, 2011; MACEDO; LOMBARDI; DUTRA, 2016; OLIVEIRA, 2009; SÉRGIO RODRIGUES, [s.d.]; TIPLER; MOSCA, 2009).

Desta maneira, levando em consideração os volumes respectivos das peças na montagem, seus materiais e respectivos pesos específicos, a massa de aço no componente foi de 614,46g e a de neodímio foi de 127,71g. Ou seja, o retorno da massa total da montagem, segundo esboço realizado, foi de 741,02g. Lembrando que a massa verificada na pesagem do conjunto foi de 739,63g.

Tabela 15: Massa por matéria prima dos componentes que não puderam ser desmontados por completo

Peça	Peso (g)	Material
Eixo horizontal	614,28	Aço
	126,72	Neodímio
Carcaça e Enrolamento estatórico	347,86	Alumínio
	1058,58	Cobre

O detalhamento de cada componente desta montagem é apresentado no Anexo 5. Sua representação 2D e 3D está exposta nas Figura 28, Figura 29 e Figura 30.

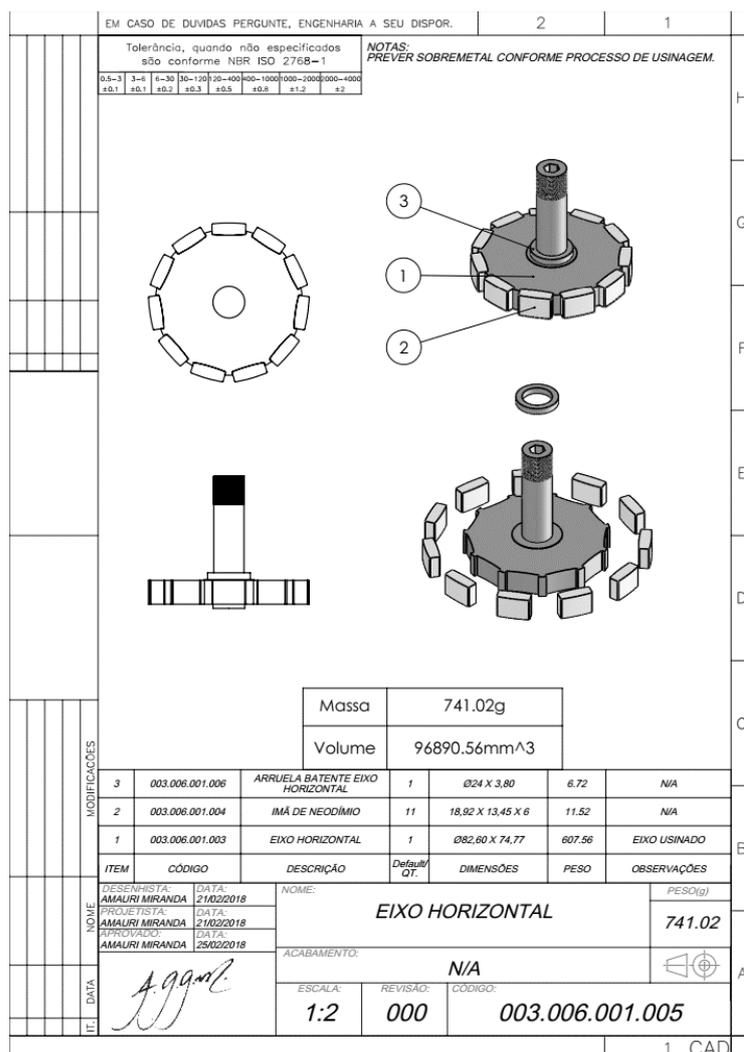


Figura 23: Representação da montagem do eixo horizontal.

Uma vez verificado a massa de cada material nos componentes compostos, e já levantado a massa dos outros componentes no processo de pesagem, o montante mássico total respectivo para cada material foi encontrado: Seguindo metodologia descrita para separação dos matérias, pesagem e quantificação; a massa respectivamente para cada material empregado no aerogerador está exposta na Figura 24. A massa total do aerogerador é de 5993,88g.

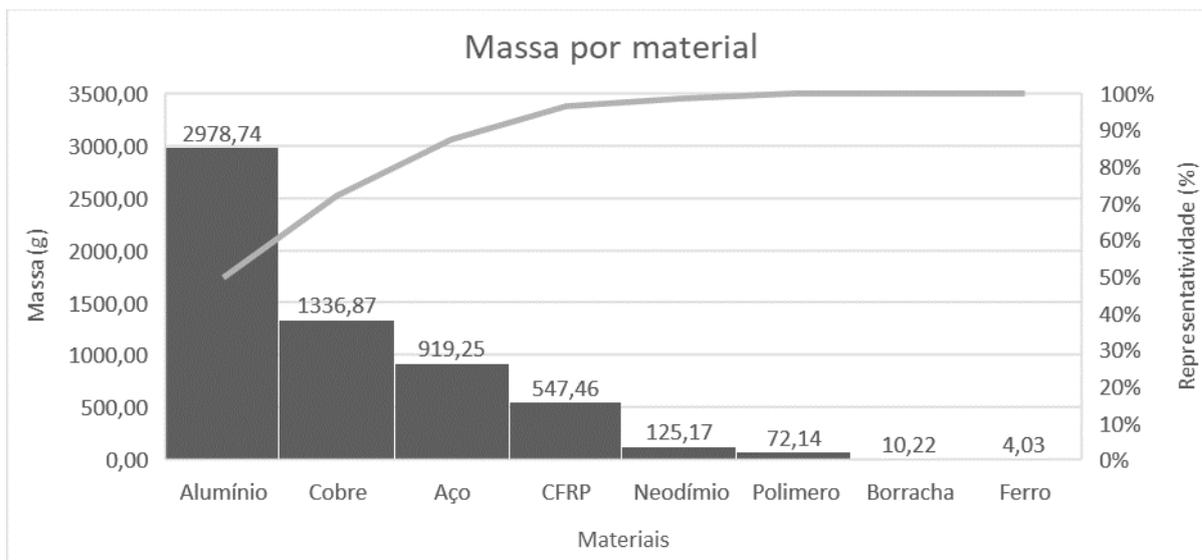


Figura 24: Massa respectiva dos materiais empregados no aerogerador.

A lista dos materiais utilizados na avaliação de ciclo de vida está exposta na Tabela 16. Na mesma tabela está a participação, em porcentagem, da massa de cada material na massa total do aerogerador.

Tabela 16: Lista de materiais e suas respectivas massas.

Peso por material		
Material	Peso total (g)	% do total
Aço	919,246	15,3
Alumínio	2978,74	49,7
Borracha	10,2247	0,2
CFRP	547,46	9,1
Cobre	1336,87	22,3
Ferro	4,0278	0,1
Neodímio	125,17	2,1
Polímero	72,14	1,2
Total	5993,88	100,0

Com base nos dados coletados na pesagem, o diagrama de Pareto exposto na Figura 24 foi criado. Nele podemos observar que: o material que tem maior representatividade é o alumínio, participando com 49,70% da massa total. Dando continuidade está o cobre, 23,30%, aço, 15,37%, CFRP, 9,13%, neodímio, 1,20%, borracha, 0,17%, e o ferro, 4,03%.

4.3.3. Levantamento custo energético e massa equivalente de CO₂.

Sendo um objetivo deste trabalho, o levantamento do custo energético, energia embutida, e massa equivalente de CO₂, uma vez levantando a massa dos materiais empregados no aerogerador e seus respectivos valores de conversão, tais objetivos podem ser alcançados. Portanto, apresentado na Figura 25, está o montante da energia embutida para cada material e a somatória total, energia embutida para o aerogerador. Estes valores estão divididos em três cenários, sendo: Valor adotado, Máximo e Mínimo. O Valor adotado foi levantado assumindo o valor médio das fontes bibliográficas verificadas. O cenário Máximo e Mínimo assumiu o valor máximo e mínimo encontrado, respectivamente. A ordem dos materiais foi organizada em ordem decrescente referente a sua massa. O valor apresentado para custo energético de cada material foi quantificado levando em consideração o custo energético específico para de material e sua respectiva massa encontrada no aerogerador, equação 22, página 38.

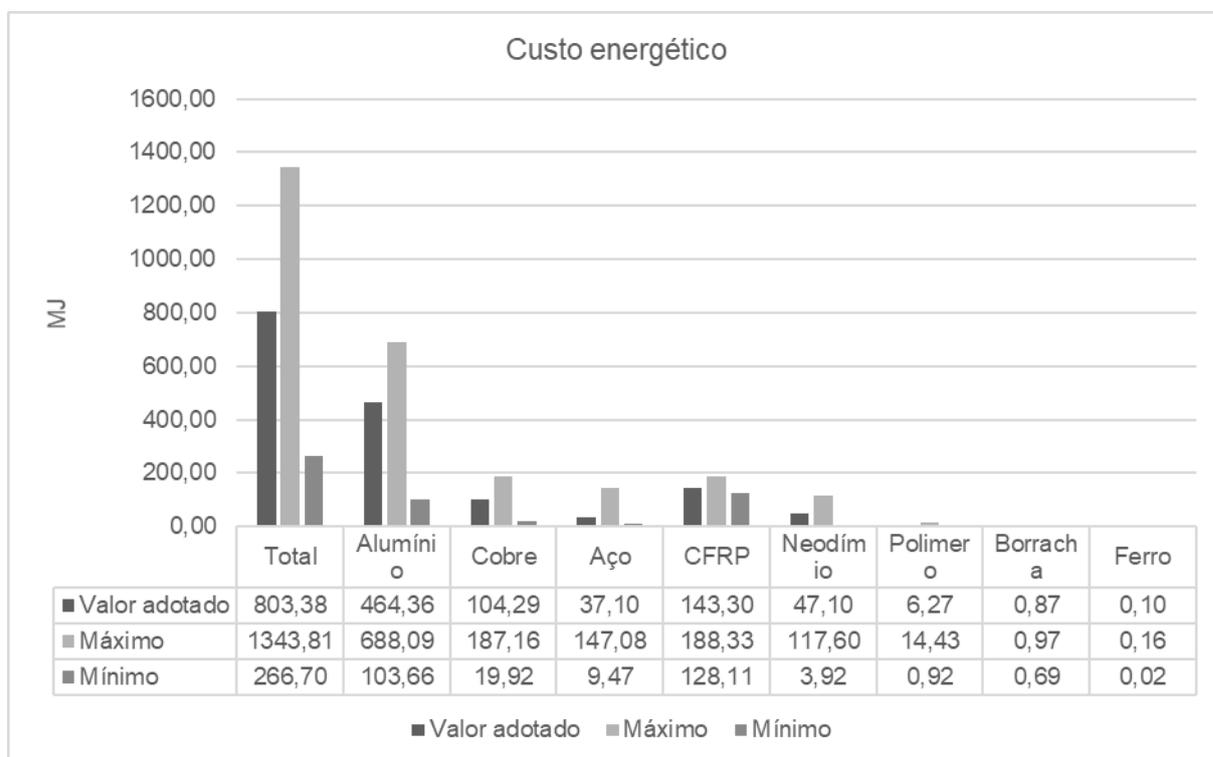


Figura 25: Custo energético do aerogerador Greatwatt S-600

Com isto, verificou-se que o custo energético embutido nos materiais presentes no aerogerador é de 803,38 MJ, quando assumimos o valor médio

encontrado nas referências bibliográficas. No cenário mais crítico, adotando os maiores valores para energia embutida, este mesmo gerador tem seu custo energético calculado em 1.343,81 MJ. Já, se adotarmos o menor valor para custo energético específico, a energia embutida total é de 266,70 MJ

Também pode-se notar que: O alumínio está na liderança tanto como material mais presente, em massa, no aerogerador como no impacto de energia embutida. O neodímio, mesmo participando com apenas 9,13% da massa total, impacta com um montante superior ao cobre, material com segunda maior massa representativa no aerogerador. O custo energético do ferro, borracha, polímero e neodímio somados representam apenas 0,901% do total, no cenário médio.

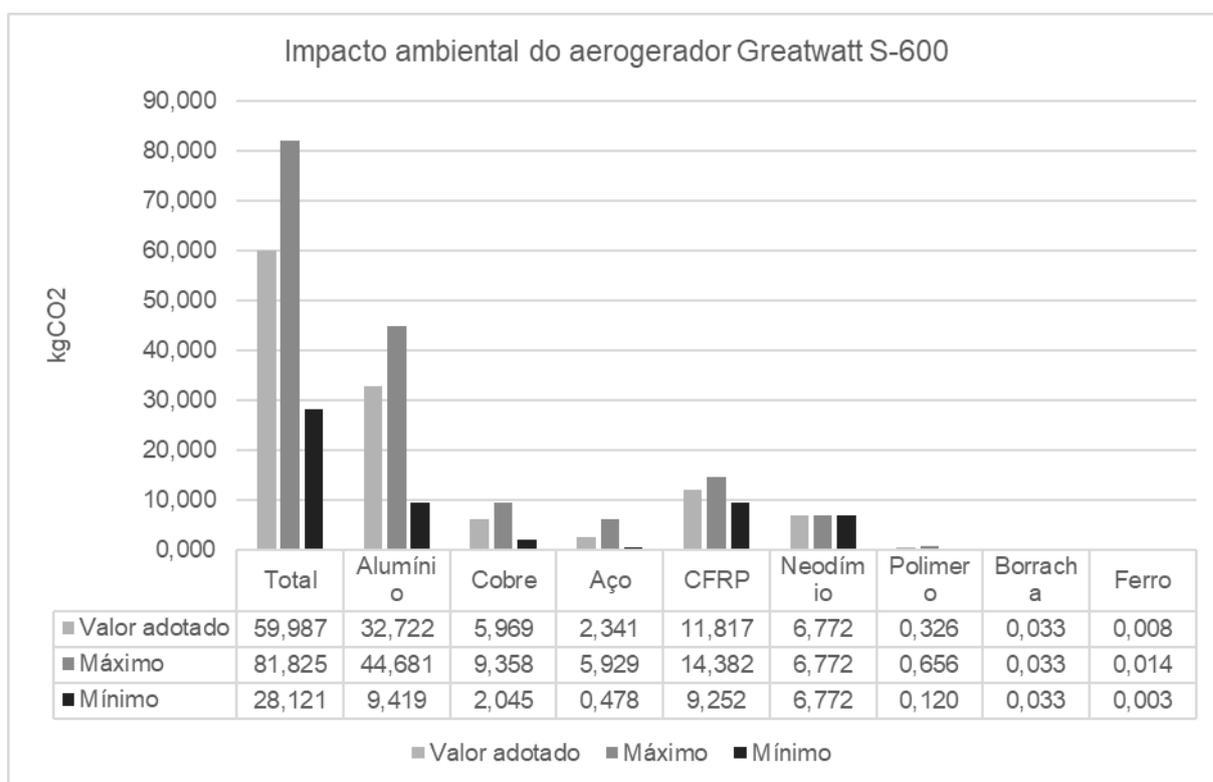


Figura 26: Impacto ambiental do aerogerador Greatwatt S-600.

A análise da massa equivalente de CO₂ por material foi realizada da mesma forma quanto a da energia equivalente. Esta tem o objetivo avaliar o impacto ambiental de cada componente tomando como base a potencial emissão de CO₂, gás tido como grande causador do efeito estufa. Os resultados mostraram que, como ocorrido com o custo energético, o alumínio está na liderança no quesito geração de CO₂e, participando com 54,55% (34,722 kgCO₂) do montante total.

Porém, para um cenário assumindo a média do kgCO₂/kg, o cobre não está em segunda posição nesta listagem, está em quarto. Neste mesmo cenário, após o alumínio, o CFRP é o que mais gera CO₂e, participando com 19,70%(11,817 kgCO₂), segundo do neodímio, participando com 11,29% (6,772 kgCO₂), cobre, com 9,95% (5,969 kgCO₂), aço, com 3,90% (2,341 kgCO₂), polímero, com 0,54%(0,326 kgCO₂), borracha, 0,05% (0,033), e, por fim, o ferro, com 0,01% (0,008 kgCO₂). Isto se deve ao fato que a massa específica de CO₂ por quilograma de material da fibra de carbono, empregada no aerogerador, é 198,6% mais impactante que a do cobre. O gráfico e os resultados desta análise estão expostos na Figura 26.

Desta forma, quando avaliado a geração de CO₂eq/kWh, a situação encontrada para a avaliação em questão é dada pela **Tabela 17**

Tabela 17: Relação entre geração de CO₂ equivalente com capacidade de geração

Modelos	Capacidade de geração (kWh)	Geração de CO ₂ eq por cenário (kgCO ₂ /kg)		
		Média	Máximo	Mínimo
S-600 (12V) (10m)	386	155	212	73
S-600 (24V) (10m)	355	169	230	79
S-600 (12V) (30m)	841	71	97	33
S-600 (24V) (30m)	819	73	100	34
S-600 (12V) nominal	973	62	84	29
S-600 (24V) nominal	1460	41	56	19

Em uma comparação com estudo apresentado por Miranda, 2012, no qual avaliou 1029 estudos prévios de análise de ciclo de vida e verificou a relação entre a emissão de gás de efeito estufa, CO₂eq, com a capacidade de produção de fontes energéticas nacionais, a emissão gerada no processo de fabricação do gerador eólico em estudo se aproxima a emissão de usinas hidroelétrica nacionais. Onde, segundo o autor, a energia proveniente de fontes hidroelétricas são acabam gerando 86 kgCO₂eq/kWh (MIRANDA, 2012).

4.3.4. Retorno energético

Desta forma, a simulação da possível capacidade de geração de energia, se em operação durante o tempo avaliado, do aerogerador pode ser realizada, tendo como resultado os dados apresentados na Tabela 13. Após confrontar dados do

aerogerador avaliado com dados meteorológicos foi verificou-se que o retorno energético médio anual é de 325 kWh/ano quando gerando a uma tensão de 12V e 298 kWh/ano quando a tensão de saída é de 24V. A descrição detalhada do resultado coletado nesta etapa está exposta no Anexo 5.

Aplicando o fator de conversão de kWh para MJ (3,6) verificamos que a turbina em estudo se em operação, durante o tempo analisado e no local da coleta dos dados, estaria gerando 1389,6 MJ/ano, a corrente 12V, e 1278 MJ/ano, a corrente 24V.

Se este gerador estivesse em operação em tempo integral e a capacidade nominal, levando em consideração a capacidade nominal de geração de energia, apresentada pelo fabricante (0,4 kW para 12V e 0,6 para 24V), teria a capacidade de gerar 3504 kWh/ano a 12V e 5256 kWh/ano a 24V. Isto representando um fator de capacidade de 11,02% e 6,75%, 12V e 24V respectivamente. Independente da menor corrente, mesmo a 12V o gerador teria uma geração média anual superior que quando a 24V. Desta forma, o gerador eólico, para as condições de coleta, teria maior eficiência se funcionando a uma corrente de 12V. Isto se deve ao fato da distinção entre as curvas de potência.

Outro ponto importante nesta análise, exposto na Tabela 18 é a porcentagem de tempo que está turbina estaria atuando a capacidade nominal de geração de energia. Se configurada para funcionar a 12V, em nenhum momento estaria gerando 400W. Com a configuração de corrente para 24V, apenas 0,07% do tempo estaria gerando 600W. Ademais, o tempo ocioso, onde não estaria gerando energia, dos geradores é aproximadamente 30% do tempo total. Isto é decorrente da velocidade do vento, portanto, um gerador com curva de potência que atingisse capacidade nominal de geração a inferior velocidade de vento talvez seria mais indicado para esta localidade. Outra alternativa para maior geração de energia seria aumentar o tamanho da torre, instalando ele a uma altura de hub superior. Com a altura de hub de 30 metros a velocidade média calculada do vento seria de 5,79m/s, aumento de 41,56%.

Tabela 18: Relatório básico de geração

Parâmetro	Unidade	S-600 (12V)	S-600 (24V)
Velocidade do vento	(m/s)	4,09	4,09
Percentagem do tempo a zero	(%)	30,83	30,83
Percentagem do tempo a nominal	(%)	0	0,07
Geração anual nominal	(kWh/ano)	3504	5256
Geração anual	(kWh/ano)	386	355
Geração anual	(MJ/ano)	1389,6	1278
Fator de capacidade	(%)	11,02%	6,75%

Nesta condição, devido a variação na distribuição de Weibull, o tempo ocioso do aerogerador seria inferior, a porcentagem do tempo à geração nominal subiria, juntamente com a potência de saída e consequentemente a geração anual. Portanto, o fator de capacidade do aerogerador passaria de 11,02% para 24,00% se operando a 12V e 6,75% para 15,58% se operando a 24V, dados obtidos aplicando metodologia apresentada na revisão bibliográfica referente a capacidade de geração de energia e escalonamento de velocidade de vento. Esta diferença na capacidade de geração se dá primeiramente devido ao fato de que, em posição mais elevada referente ao solo, a velocidade do vento tende a ser maior, posteriormente, decorrente deste primeiro aspecto, que, com uma velocidade maior a constância desta velocidade acima da velocidade de início de geração seria mais elevada. Isto se comprova quando analisado o tempo em operação a diferentes alturas. Resultado apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Dados de geração para 30m de altura de hub

Parâmetro	Unidade	S-600 (12V) (30m)	S-600 (24V) (30m)
Velocidade do vento	(m/s)	5,79	5,79
Percentagem do tempo a zero	(%)	0	0
Percentagem do tempo a nominal	(%)	0,01	0,65
Geração anual nominal	(kWh/ano)	3504	5256
Geração anual	(kWh/ano)	841	819
Geração anual	(MJ/ano)	3027,6	2948,4
Fator de capacidade	(%)	24,00	15,58

A percentagem do tempo a zero apresentada na Tabela 19 se deu graças ao fato que, a uma altura de hub de 30 metros, a porcentagem do tempo em que o gerador não estaria gerando energia é menor que zero. Os valores apresentados nesta tabela são resultados de equações que levaram em consideração a

velocidade de vento a cada instante da coleta, a capacidade de geração de energia do aerogerador para determinada velocidade de vento, a massa específica do ar no instante da coleta e o escalonamento da velocidade do vento para diferente altura (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

4.3.5. Payback energético

O tempo de payback energético do aerogerador levou em consideração: Capacidade de geração do aerogerador quando em operação e 12 e 24V, condições climáticas fornecidas pelo Simepar, custo energético embutido nos materiais empregados no modelo. Este custo energético foi calculado analisando a massa de cada componente e seu respectivo custo energético específico, quanto ao seu material.

Com isto, verificou-se que o custo energético total do aerogerador é de 803,38 MJ (223,16 kWh), para um panorama médio, levando em consideração a média das informações encontradas para MJ/kg para os materiais. Assumindo o valor máximo e mínimo para energia embutida por material o custo energético seria de 1.343,81 MJ (373,28 kWh) e 266,702 MJ (74,08 kWh), respectivamente.

Para geração da Figura 27 foram analisadas tais situações:

- Energia embutida total do aerogerador: máximo, médio e mínimo, levando em consideração o custo energético específico embutido por matéria prima;
- Configuração de montagem: com altura de hub a 10m e 30m;
- Situação perfeita de geração: geração ininterrupta a capacidade nominal apresentada pelo fabricante do aerogerador.

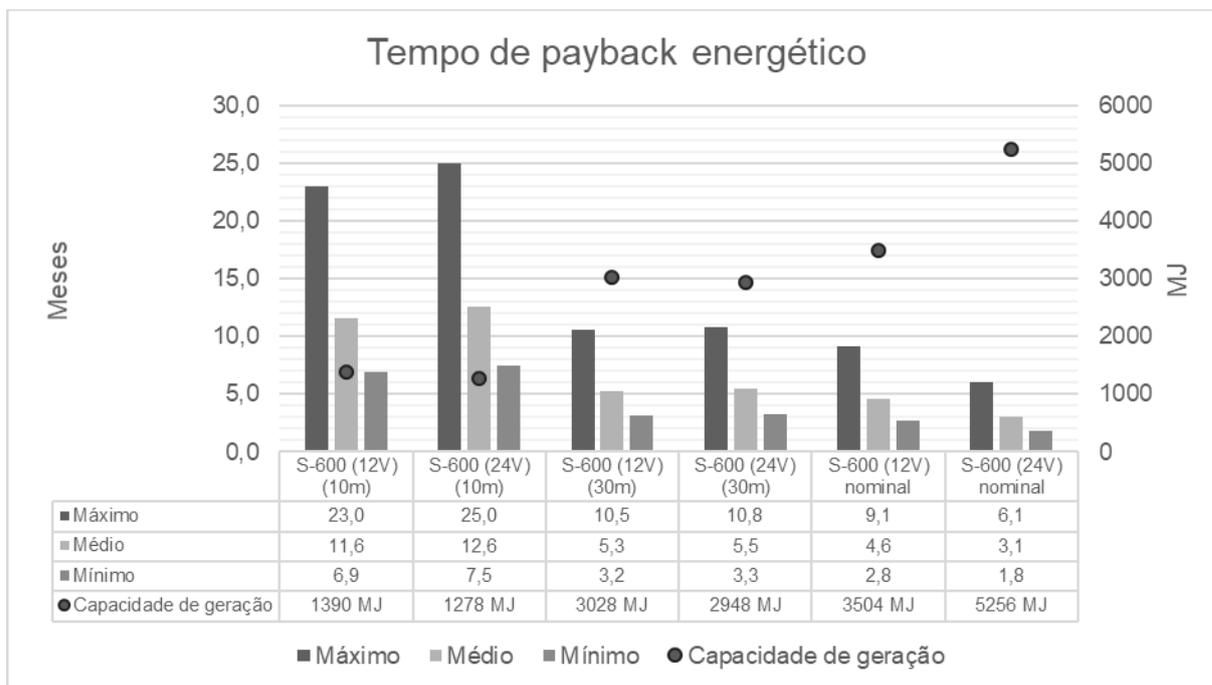


Figura 27: Tempo de payback energético.

Desta forma verificou-se, para instalação do conforme situação realizada no Projeto Casa, com altura de hub de 10 metros, se em operação gerando corrente de 12V e 24V, o tempo de payback energético em um cenário médio seria de 11 meses 18 dias e 3 horas e 1 anos 18 dias e 13 horas, respectivamente. Uma lista detalhada destes resultados pode ser encontrada no Anexo 3.

Quando analisado o panorama da instalação do aerogerador com uma corrente de 30 metros os resultados referentes a capacidade de geração é mais satisfatório. Consequentemente o tempo de payback energético é reduzido, comparado com a torre de apenas 10 metros. Nesta situação o tempo de payback energético para a configuração de geração a 12V é de 5 meses 9 dias e 18 horas. Tenho uma redução de 46% no tempo final de payback energético, consequências está do aumento na geração.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista que o levantamento da energia embarcada no aerogerador S-600, da marca Greatwatt, levou em consideração apenas a energia embutida nos materiais em pregados para sua fabricação e avaliando as condições climáticas de Cascavel - PR, o resultado foi que:

- A energia embutida no produto, levando em consideração a média das fontes bibliográficas avaliadas, é de 803,38MJ;
- O tempo de payback energético para este valor de energia embutida é de 11 meses e 18 dias, quando gerando energia a 12V, e 1 ano e 18 dias, quando gerando energia a 24V;
- A massa de dióxido de carbono equivalente para o material empregado no aerogerador, em um cenário de médio das fontes bibliográficas coletadas, é de 59,99kgCO₂;
- O retorno energético da turbina estudada é de 1390,6 MJ/ano (12V) e 1278 MJ/ano (24V).

A questão avaliada referente à altura do hub na montagem do aerogerador apresentou resultados favoráveis consideráveis referente ao melhor aproveitamento do potencial eólico para o local estudado. Reduzindo para praticamente zero o tempo em que o aerogerador não estaria produzindo energia, isto tanto para 12 e 24V.

6. REFERÊNCIAS

AHURA, M. **Ancient Persian Wind mills**. Disponível em: <<http://www.mazda.ahuranews.com/9552/ancient-persian-wind-mills/>>. Acesso em: 30 maio. 2017.

AL-ANI, M. K. A strategic framework to use payback period (PBP) in evaluating the capital budgeting in energy and oil and gas sectors in Oman. **International Journal of Economics and Financial Issues**, v. 5, n. 2, p. 469–475, 2015.

AL-BEHADILI, S. H.; EL-OSTA, W. B. Life Cycle Assessment of Dernah (Libya) wind farm. **Renewable Energy**, v. 83, p. 1227–1233, nov. 2015.

ALCORN, J. A.; BAIRD, G. Use of a hybrid energy analysis method for evaluating the embodied energy of building materials. **Renewable Energy**, v. 8, n. 1–4, p. 319–322, 1 maio 1996.

ALFREDO SPEDICATO, G. et al. The markovchain Package: A Package for Easily Handling Discrete Markov Chains in R. 2016.

ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da Engenharia de Edificações - Materiais e Métodos**. 5. ed. [s.l: s.n.].

ANDRADY, A. L. (ED.). **Plastics and the Environment**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2003.

ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

ANELL. **Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 3 jun. 2018.

ARDENTE, F. et al. Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, p. 200–217, jan. 2008.

ASO, R.; CHEUNG, W. M. Towards greener horizontal-axis wind turbines: analysis of carbon emissions, energy and costs at the early design stage. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 263–274, jan. 2015.

BAI, C. J. et al. Design of 10 kW Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) Blade and Aerodynamic Investigation Using Numerical Simulation. **Procedia Engineering**, v. 67, p. 279–287, 2013.

BALAKRISHNA, C. et al. Wind Turbine Output Estimation using Windographer Software. **International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering**, v. 3, n. 11, p. 2454–4248, 2017.

BARROS, S. M.; CORREA, B. **Probabilidade e Estatística**. 2ª ed. Belo Horizonte: [s.n.].

BENTON, K. Digital Commons @ Montana Tech A LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A DIESEL GENERATOR SET. 2016.

BONG, C. P. C. et al. A review on the global warming potential of cleaner composting and mitigation strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 146, p. 149–157, mar. 2017.

BOSCH, J.; STAFFELL, I.; HAWKES, A. D. Temporally-explicit and spatially-resolved global onshore wind energy potentials. 2017.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G. F. **Handbook of industrial energy analysis**. [s.l: s.n.].

BOWEN, A. **Vertical axis wind turbine and met tower in the field**, 2012. Disponível em: <<http://images.nrel.gov/albums.php?albumId=207423>>

BRASIL. **Balanco Energético de Edificações Típicas**. Brasília: [s.n.].

BUKALA, J. et al. Modern small wind turbine design solutions comparison in terms of estimated cost to energy output ratio. **Renewable Energy**, v. 83, p. 1166–1173, nov. 2015.

BURTON, T. et al. **Wind Energy Handbook**. [s.l: s.n.].

CERVO, AMADO LUIZ; BERVIAN, PEDRO ALCINO; SILVA, R. DA. Métodos e técnicas de pesquisa. In: **Metodologia científica**. [s.l: s.n.]. p. 27–35.

CORDEIRO, S. G. F. Formulações do Método dos Elementos de Contorno aplicadas à análise elástica e à fratura coesiva de estruturas compostas planas. p. 266, 2015.

CRAWFORD, R. H. Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. v. 13, p. 2653–2660, 2009.

DAS, S. Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 3, p. 268–282, 22 mar. 2011.

DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION. **2016 SOLIDWORKS Help - Introduction**. Disponível em: <http://help.solidworks.com/2016/english/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm>. Acesso em: 20 fev. 2018.

DODGE, D. M. **Illustrated History of Wind Power Development**. Disponível em: <<http://www.telosnet.com/wind/early.html>>.

EMEJEAMARA, F. C.; TOMLIN, A. S.; MILLWARD-HOPKINS, J. T. Urban wind: Characterisation of useful gust and energy capture. **Renewable Energy**, v. 81, p. 162–172, set. 2015.

ENERGY.GOV. **Office of Energy Efficiency & Renewable Energy**. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>>. Acesso em: 26 mar. 2014.

FERREIRA, Â. P.; COSTA, A. F. Projeto e seleção de materiais magnéticos permanentes. **e-LP - Engineering and Technology Journal**, p. 1–21, 2011.

FICHAUX, N. et al. Design limits and solutions for very large wind turbines: A 20 MW turbine is feasible. **UpWind**, n. March, p. 1–108, 2011.

FINKBEINER, M. et al. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 80–85, 2006.

FLECK, B.; HUOT, M. Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. **Renewable Energy**, v. 34, n. 12, p. 2688–2696, 2009.

FRISCHKNECHT, R. et al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. **American Midland Naturalist**, v. 150, n. 3, p. 1–151, 2007.

GONÇALVES, R. C. Análise de Frequência Regional de Ventos Extremos no Paraná. p. 206, 2007.

GONZÁLEZ, M. J.; GARCÍA NAVARRO, J. Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. **Building and Environment**, v. 41, n. 7, p. 902–909, 1 jul. 2006.

GOOGLE INC. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/24°59'21.9%22S+53°26'59.3%22W/@-24.9893545,-53.4496666,19z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-24.9894189!4d-53.4498031?hl=pt-BR>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

GOULART COELHO, L. M.; LANGE, L. C. Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, set. 2016.

GREATWATT ENERGY, L. **S-600 Wind Generator Serial Number** : Suzhou, China: [s.n.].

GUEZURAGA, B.; ZAUNER, R.; PÖLZ, W. Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines. **Renewable Energy**, v. 37, n. 1, p. 37–44, 2012.

GUIMARÃES, G. D. **Análise energética na construção de habitações**. Rio de Janeiro – RJ: [s.n.].

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment : operational guide to the ISO standards**. [s.l.] Kluwer Academic Publishers, 2002.

HAAPALA, K. R.; PREMPREEDA, P. Comparative life cycle assessment of

2.0 MW wind turbines. **International Journal of Sustainable Manufacturing**, v. 3, n. 2, p. 170, 2014.

HOWARTH, J.; MAREDDY, S. S. R.; MATIVENGA, P. T. Energy intensity and environmental analysis of mechanical recycling of carbon fibre composite. **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 46–50, 15 out. 2014.

ISLAM, M. R.; SAIDUR, R.; RAHIM, N. A. Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function. **Energy**, v. 36, n. 2, p. 985–992, fev. 2011.

JURACH, J. J. **Influência do Tamanho e Forma na Qualidade das Sementes de Milho Durante Armazenagem.**, 2004. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/3/TDE-2006-07-06T220352Z-39/Publico/Jorge_Jose_Jurach.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2017

KANYAKO, F.; JANAJREH, I. Implementation and economical study of HAWT under different wind scenarios. **Sustainable Cities and Society**, v. 15, p. 153–160, jul. 2015.

KAY, M. **Wind resource and characteristics** SydneyUNSW, , 2013.

KHAN, F. I.; HAWBOLDT, K.; IQBAL, M. T. T. Life Cycle Analysis of wind-fuel cell integrated system. **Renewable Energy**, v. 30, n. 2, p. 157–177, 1 fev. 2005.

KIM, S.; ADVISOR, F.; ENEMUOH, E. Engineering Sustainability of Mechanical Recycling of Carbon Fiber Composite Materials. 2014.

LAMBERT, T. **Markov Gap Fill Algorithm.** [s.l: s.n.].

LAMBERT, T. **Wind Turbine Output Calculator.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/calculate-kwh-generated-by-wind-turbine/>>.

LANZAFAME, R.; MAURO, S.; MESSINA, M. HAWT Design and Performance Evaluation: Improving the BEM Theory Mathematical Models. **Energy Procedia**, v. 82, p. 172–179, dez. 2015.

LEE, B.; TRCKA, M.; HENSEN, J. L. M. Embodied energy of building materials and green building rating systems—A case study for industrial halls. **Sustainable Cities and Society**, v. 1, n. 2, p. 67–71, 1 jul. 2011.

LINARD, E. M. DA S. F. J. A. **USO DO SOFTWARE WINDOGRAPHER® PARA ESTIMATIVAS DA VELOCIDADE DO VENTO EM ALTITUDE NUMA REGIÃO DO LITORAL CEARENSE.** CBMET. **Anais...**2010

MACEDO, T. A.; LOMBARDI, D. B.; DUTRA, R. D. F. Análise dinâmica de pontes: estudo comparativo entre cargas móveis rodoviárias e ferroviárias com o uso do software ANSYS. 2016.

MANTOAM, E. J. **Inventário de materiais , energia e emissões dos gases de efeito estufa na vida útil de máquinas agrícolas.** [s.l: s.n.].

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind Energy Explained**. [s.l: s.n.].

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: theory, design and application**. [s.l: s.n.].

MARTE (R). **Marte (R)Balanças Eletrônicas**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.intellibuild.com.br/download/Marte_AL_AS.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2018

MARTÍNEZ, E. et al. Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. **Renewable Energy**, v. 34, n. 3, p. 667–673, 2009.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. Érica Ltda ed. São Paulo: [s.n.].

MIRANDA, M. M. Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil : implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, n. Dissertação de Mestrado, p. 164, 2012.

MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. **Catálogo básico de produto CAT-164**Mitutoyo, , 2016.

MONAHAN, J.; POWELL, J. C. A comparison of the energy and carbon implications of new systems of energy provision in new build housing in the UK. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 290–298, 1 jan. 2011.

MONTE, A. D.; RACITI CASTELLI, M.; BENINI, E. Multi-objective structural optimization of a HAWT composite blade. **Composite Structures**, v. 106, p. 362–373, dez. 2013.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Professos de Fabricação - Fundição**Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/fundicao.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018

MOUFAKKIR, O. Heritage attractions and the case of the Dutch windmills. **Tourism Analysis**, v. 12, n. 5–6, p. 493–497, 2007.

OLIVEIRA, J. G. S. M. DE. Materiais usados na construção de motores elétricos. p. 70, 2009.

OLIVER M. BUTCHER; GEOFFREY P. HAMMOND; CRAIG I. JONES. Technological Potential for Zero or Low Carbon (ZLC) - Energy Options in the UK Building Sector. **Sustainable Energy and Environment**, p. 28–21, 2006.

PARIZOTTO, R. R.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. **INSTALAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA COM AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE PARA PROPRIEDADES RURAIS, NA CIDADE DE CASCAVEL-PR**. [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, 2014.

PEHARZ, G.; DIMROTH, F. Energy payback time of the high-concentration PV system FLATCON®. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 13, n. 7, p. 627–634, 1 nov. 2005.

PISHGAR-KOMLEH, S. H.; AKRAM, A. Evaluation of wind energy potential for different turbine models based on the wind speed data of Zabol region, Iran. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 22, p. 34–40, ago. 2017.

POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. Mecânica dos fluidos. **Thomson**, p. 792, 2004.

RYDH, C. J.; SUN, M. Life cycle inventory data for materials grouped according to environmental and material properties. 2005.

SAVINO, M. M. et al. A new model for environmental and economic evaluation of renewable energy systems: The case of wind turbines. **Applied Energy**, v. 189, p. 739–752, mar. 2017.

SCHNÖLL, H. P. et al. **CO2 Reduction Potential of CFRP-Bodywork Concepts Considering Production and In-Use Phase**. 2015

SÉRGIO RODRIGUES, M. **Elementos Químicos**, [s.d.]. Disponível em: <<http://professormariosergio.com.br/arquivos/ElemQuimPropriedades.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2018

SHIMADZU CORPORATION. **Eletronic Balance BL Series** Kyoto, Japão Shimadzu, 2008. Disponível em: <<https://www.shimadzu.com/an/qn50420000070sh-att/BLSeries.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2018

SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. **Oficina de Textos**, p. 129–151, 2015.

SIMEPAR. **Simepar**. Disponível em: <http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/institucional/index_historico.shtml>.

SIMEPAR. **Dados meteorológicos coletados na estação de Cascavel - Paraná** Cascavel, 2018.

SONG, Y. S.; YOUN, J. R.; GUTOWSKI, T. G. Life cycle energy analysis of fiber-reinforced composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 40, n. 8, p. 1257–1265, 1 ago. 2009.

SPOSTO, R. M.; CALDAS, L. R.; NETO, A. C. N. Energia Incorporada E Emissões De Co 2 De Fachadas De Light Steel Framing No Brasil. **Oculum Ensaios**, v. 13, n. 1, p. 163–182, 2016.

STACHERA JR, T. **Avaliação de Emissões de CO2 na Construção Civil : Um Estudo de Caso da Habitação de Interesse Social no Paraná**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...2008** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_090_554_12351.pdf>

SYSTEMS, V. W. **V90-3.0 mw**. Randers: [s.n.]. Disponível em: <vestas.com>.

T.R. HIESTER; W.T. PENNEL. **The Meteorological Aspect of Siting Lard Wind Turbines**. Rich1 and, Washington 99352 : Contract DE-AC06-76RLO 1830 , 1981.

TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. Methodology of CO2 emission evaluation in the life cycle of office building façades. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 33, n. 1, p. 41–47, 2012.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. **CO 2 Embutido em edificações residenciais brasileiras**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...2008** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A2302.pdf>>

TECNO DIGITAL. **Paquímetro Digital Capacidade 0-150mm/6“ Resolução 0,01mm/0.005” Mitutoyo 500-171-30B**. Disponível em: <https://www.tecnoferramentas.com.br/paquimetro-digital-150-mm-mitutoyo-500_171_30b/p?idsku=2000019&gclid=Cj0KCQjw5qrXBRC3ARIsAJq3bwrVWH4CGOAIZ5KZy_836ehPosQDu7iZEOZro_PosPbVDtFv57prCNYaAoblEALw_wcB>. Acesso em: 3 abr. 2018.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física Para Cientistas e Engenheiros**. 1. ed. [s.l.] LTC, 2009.

TREMEAC, B.; MEUNIER, F. Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 2104–2110, 2009.

VESTAS. **High output in modest winds High output in modest winds** Ringkøbing, DK Vestas Wind Systems A/S, , 2003. Disponível em: <http://www.nrg-systems.hu/dok/V90_2,0_MW_EN.pdf>

WAGNER CORRADI et al. **Fundamentos da Física**. Belo Horizonte: [s.n.].

WANG, W.; TEAH, H.-Y. Life cycle assessment of small-scale horizontal axis wind turbines in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 492–501, jan. 2017.

WEINZETTEL, J. et al. Life cycle assessment of a floating offshore wind turbine. **Renewable Energy**, v. 34, n. 3, p. 742–747, 2009.

WHITE, F. M. Fluid Mechanics. **Book**, v. 17, n. 3, p. 864, 2009.

XU, L. et al. Life cycle assessment of onshore wind power systems in China. **Resources, Conservation and Recycling**, jul. 2017.

ZABALZA BRIBIÁN, I.; VALERO CAPILLA, A.; ARANDA USÓN, A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and**

Environment, v. 46, n. 5, p. 1133–1140, 2011.

ZUO, W.; WANG, X.; KANG, S. Numerical simulations on the wake effect of H-type vertical axis wind turbines. **Energy**, v. 106, p. 691–700, jul. 2016.

ANEXO 1 - FONTES BIBLIOGRÁFICA PARA VALOR DE ENERGIA EMBUTIDA E CO2 EQUIVALENTE POR MATÉRIA MATERIAL.

Tabela 20: Energia equivalente embutida por material (MJ/kg).

Aço	Alumínio	Borracha	CFRP	Cobre	Imã	Ferro	Polímero	Referência
32,00								(ALCORN; BAIRD, 1996; GONZÁLEZ; GARCÍA NAVARRO, 2006)
		95,00						(ALLEN; IANO, 2013)
							72,40	(ANDRADY, 2003)
45,70	157,10			69,00	31,30	24,30		(BENTON, 2016)
51,50	231,00	88,00		140,00		32,70	52,50	(BOUSTEAD, I; HANCOCK, 1979)
21,80	95,90							(BRASIL, 1982)
			344,00					(DAS, 2011)
17,90	34,80			14,90		6,00	12,70	(FLECK; HUOT, 2009)
				0,00	158,00			(FRISCHKNECHT et al., 2007)
25,60								(GUIMARÃES, 1985)
160,00	226,50		234,50				70,50	(HOWARTH; MAREDDY; MATIVENGA, 2014)
	145,00			110,00		40,00	105,00	(KHAN; HAWBOLDT; IQBAL, 2005)
			234,00					(KIM; ADVISOR; ENEMUOH, 2014)
33,70								(LEE; TRCKA; HENSEN, 2011)
51,50	231,00	88,00		140,00		32,70	110,20	(MANTOAM, 2016)
42,70								(MONAHAN; POWELL, 2011)
20,10	155,00			42,00		25,00		(OLIVER M. BUTCHER; GEOFFREY P. HAMMOND; CRAIG I. JONES, 2006)
		86,00						(RYDH; SUN, 2005)

Aço	Alumínio	Borracha	CFRP	Cobre	Imã	Ferro	Polímero	Referência
10,30								(SILVA, V. G.; SILVA, 2015)
18,00		67,50	234,50	59,00		26,50	71,50	(SCHNÖLL et al., 2015)
30,50								(SONG; YOUN; GUTOWSKI, 2009)
30,50	210,00							(SPOSTO; CALDAS; NETO, 2016)
54,00	72,60			49,20	939,50	15,90	200,00	(TAVARES; LAMBERTS, 2008)
32,00								(WANG; TEAH, 2017)
40,4	155,9	84,9	261,8	69,3	376,3	25,4	86,8	Valor adotado
160,00	231,00	95,00	344,00	140,00	939,50	40,00	200,00	Máximo
10,30	34,80	67,50	234,00	0,00	31,30	6,00	12,70	Mínimo

Fonte: dados adaptados das fontes descritas.

Tabela 21: Emissão de CO2 equivalente por material (kgCO2/kg)

Aço	Alumínio	Borracha	CFRP	Cobre	Imã	Ferro	Polímero	Referência
							2,76	(ANDRADY, 2003)
1,83								(Costa, 2012)
3,19	15	3,18		6		0,75	1,66	(BOUSTEAD, I; HANCOCK, 1979)
6,45	13,06			4,56		1,98	4,29	(FLECK; HUOT, 2009)
				1,53				(FRISCHKNECHT et al., 2007)
1,37	8,24			2,6		1,91		(OLIVER M. BUTCHER; GEOFFREY P. HAMMOND; CRAIG I. JONES, 2006)
0,52								(GONZÁLEZ; GARCÍA NAVARRO, 2006)
	12,05			7		3,5	3	(KHAN; HAWBOLDT; IQBAL, 2005)
3,8								(MONAHAN; POWELL, 2011)
1,55								(SILVA, V. G.; SILVA, 2015)
1,63								(SPOSTO; CALDAS; NETO, 2016)
1,45								(STACHERA JR, 2008)
			16,9					(DAS, 2011)
			26,3					(SCHNÖLL et al., 2015)
	3,162							(TABORIANSKI; PRADO, 2012)
4,7	14,4			5,1	54,1	2,3	9,1	(WANG; TEAH, 2017)
1,52								(ZABALZA BRIBIÁN; VALERO CAPILLA; ARANDA USÓN, 2011)
2,55	10,99	3,18	21,59	4,47	54,10	2,09	4,51	Valor adotado
6,45	15,00	3,18	26,27	7,00	54,10	3,50	9,10	Máximo
0,52	3,16	3,18	16,90	1,53	54,10	0,75	1,66	Mínimo

Fonte: dados adaptados das fontes descritas.

ANEXO 2 - LISTA DE PESAGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS.

Tabela 22: Listagem completa dos componentes do aerogerador

Peça		Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Lista	Item					
Lista 1	1	1	0,2450	Borracha	Mancal borracha para mola tencionadora das escovas de transmissão	1
Lista 1	2	1	0,2491	Borracha	Mancal borracha para mola tencionadora das escovas de transmissão	2
Lista 1	3	1	2,3751	Borracha	Isolante elétrico entre o radiador principal e nacele	3
Lista 1	4	1	0,8088	Borracha	Isolante elétrico entre radiador principal e placa	4
Lista 1	5	1	0,6135	Borracha	Isolante elétrico entre radiador principal e placa	5
Lista 1	6	1	97,8818	Alumínio	Radiador principal da placa	6
Lista 1	7	1	14,4139	Alumínio	Radiador menor da placa	7
Lista 1	8	1	0,4057	Arame	Mola tensora da escova de transmissão	8
Lista 1	9	1	71,3298	Polímero	Placa do circuito eletrônico	9
Lista 1	10	1	0,4033	Arame	Mola tensora da escova de transmissão	10
Lista 1	11	1	0,9547	Aço	Parafuso união do radiador principal com radiador menor	11 e 13
Lista 1	12	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	13	1	0,9547	Aço	Parafuso união do radiador principal com radiador menor	11 e 13
Lista 1	14	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34

Peça		Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Lista	Item					
Lista 1	15	1	0,1215	Ferro	Arruelas para parafusos	24, 23, 22, 35 e 15
Lista 1	16	1	1,2590	Aço	Parafusos soberbo de fixação da do dissipador de calor a placa	16 e 21
Lista 1	17	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	18	1	7,7459	Cobre	Escova de transmissão da placa ao eixo escova	18 e 28
Lista 1	19	1	0,5255	Ferro	Parafuso soberbo de fixação e união da placa, escova e dissipador de calor	19 e 20
Lista 1	20	1	0,5255	Ferro	Parafuso soberbo de fixação e união da placa, escova e dissipador de calor	19 e 20
Lista 1	21	1	1,2590	Aço	Parafusos soberbo de fixação da do dissipador de calor a placa	16 e 21
Lista 1	22	1	0,1215	Ferro	Arruelas para parafusos	24, 23, 22, 35 e 15
Lista 1	23	1	0,1215	Ferro	Arruelas para parafusos	24, 23, 22, 35 e 15
Lista 1	24	1	0,1215	Ferro	Arruelas para parafusos	24, 23, 22, 35 e 15
Lista 1	25	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	26	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	27	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	28	1	7,7459	Cobre	Escova de transmissão da placa ao eixo escova	18 e 28
Lista 1	29	1	0,6779	Ferro	Parafusos fixação cabo transmissão estator para placa	29, 30 e 31

Peça		Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Lista	Item					
Lista 1	30	1	0,6779	Ferro	Parafusos fixação cabo transmissão estator para placa	29, 30 e 31
Lista 1	31	1	0,6779	Ferro	Parafusos fixação cabo transmissão estator para placa	29, 30 e 31
Lista 1	32	1	0,7374	Ferro	Parafuso fixação dispositivo a dissipador de calor menor	32
Lista 1	33	1	0,0321	Polímero	Suporte bucha de+E43 posicionamento parafuso	33
Lista 1	34	1	0,0957	Aço	Arruelas e arruelas travantes	12, 17, 27, 25, 26, 14 e 34
Lista 1	35	1	0,1215	Ferro	Arruelas para parafusos	24, 23, 22, 35 e 15
Lista 1	36	1	0,3357	Ferro	Arruela fixação dissipador de calor a componente da placa	36
Lista 2	Eixo escova	2	260,65	Cobre	Elixo, primordialmente de cobre, para transferência da energia gerada e transmitida pela placa para o cabeamento de transmissão	Eixo escova
Lista 2	1	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6
Lista 2	2	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6
Lista 2	3	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6
Lista 2	4	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6

Peça		Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Lista	Item					
Lista 2	5	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6
Lista 2	6	1	6,1003	Aço	Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás	1 a 6
Lista 2	7	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	8	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	9	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	10	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	11	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	12	1	2,0424	Aço	Porcas M6, união mancal das pás com pás	7 a 12
Lista 2	13	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	14	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	15	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	16	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	17	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	18	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	19	1	6,9995	Aço	Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4)	13 a 19
Lista 2	20	1	13,3693	Aço	Parafuso fixação do eixo escova	20

Peça		Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Lista	Item					
Lista 2	21	1	0,2924	Aço	Arruela travante para fixação do eixo da escova	21 e 26
Lista 2	22	1	0,6606	Aço	Arruela para fixação do eixo da escova e placa a nacele	22 e 25
Lista 2	23	1	2,6200	Aço	Parafusos união placa a nacele	23 e 24
Lista 2	24	1	2,6200	Aço	Parafusos união placa a nacele	23 e 24
Lista 2	25	1	0,6606	Aço	Arruela para fixação do eixo da escova e placa a nacele	22 e 25
Lista 2	26	1	0,2924	Aço	Arruela travante para fixação do eixo da escova	21 e 26
Lista 2	27	1	1,0080	Aço	Arruelas fixação yaw	27 a 30
Lista 2	28	1	1,0080	Aço	Arruelas fixação yaw	27 a 30
Lista 2	29	1	1,0080	Aço	Arruelas fixação yaw	27 a 30
Lista 2	30	1	1,0080	Aço	Arruelas fixação yaw	27 a 30
Lista 2	31	1	1,8383	Cobre	Escova terra	31
Lista 2	32	1	0,3087	Cobre	Ligação escova terra com parte metálica da nacele	32
Lista 2	33	1	0,3897	Polímero	Apoio mancal para fixação da placa	33 e 34
Lista 2	34	1	0,3897	Polímero	Apoio mancal para fixação da placa	33 e 34
Lista 2	35	1	0,2102	Arame	Mola escova terra	35
Lista 2	36	1	29,4928	Aço	Porca fixação mancal pás a eixo horizontal	36
	Pá 01	2	182,22	Carbono	Pá 1/3 do gerador	Pá 01
	Pá 02	2	181,97	Carbono	Pá 1/3 do gerador	Pá 02
	Pá 03	2	183,27	Carbono	Pá 1/3 do gerador	Pá 03

Peça Lista Item	Balança	Peso (g)	Material	Descrição	Itens na pesagem
Suporte pá	2	271,98	Alumínio	Mancal de posicionamento das pás, ligação mecânica das pás com o eixo do gerador e suporte para nariz.	Suporte pá
Elemento de fixação do hub no mastro	2	158,24	Alumínio	Peça para fixação do hub no mastro	Elemento de fixação do hub no mastro
Nacele	2	2088,37	Alumínio	Corpo do aerogerador	Nacele
Eixo horizontal	2	614,46 125,17	Aço* Neodímio*	Composto de um eixo usinado e imãs alocados em sua circunferência maior	Eixo horizontal
Carcaça e Enrolamento estático	2	347,86 1058,58	Alumínio* Cobre*	Suporte fundido em alumínio com componente de cobre. Este deve ser quantificado.	Carcaça e Enrolamento estático
Borracha isolamento	1	4,8736	Borracha	Borracha isolamento contra intempéries posicionada entre o mancal do estator e nacele	Borracha isolamento
Rolamentos (2)	1	136,5937	Aço	Rolamentos do eixo horizontal	Rolamentos (2)
Anel elástico externo	1	4,6323	Aço	Anel elástico de fixação do eixo escova	Anel elástico externo
Anel elástico interno	1	4,2295	Aço	Anel elástico de fixação dos rolamentos eixo horizontal	Anel elástico interno
Manta isolamento	1	1,0596	Borracha	Manta para redução da vibração do contato do mastro com suporte yaw	Manta isolamento
Nariz	2	44,0	Polímero	Capa protetora e aerodinâmica posicionada em frente ao mancal das pás	Nariz

* - Materiais com massa mensura analiticamente.

ANEXO 3 - MANUAL TÉCNICO DE INSTALAÇÃO DO AEROGERADOR GREATWATT S-600 (GREATWATT ENERGY, [S.D.]

S-600 Wind Generator
Voltage Smart Change!
Rated: 600watt
 Owner's Manual
 Version 1.0



Serial Number: _____

NOTICES:

- ◆ This manual contains all necessary information for assembling, testing, operating, and maintaining this Wind Generator. Please read it carefully and retain it for future reference.
 - ◆ We have made every effort to ensure that the information presented in this manual is accurate but assumes no responsibility for any errors or omissions. Users of this information and products assume full responsibility and risk.
- All specifications are subject to change without notice.
- ◆ Wind Generators, like other sources of electrical power, must be installed following the guidelines established by state and local regulations. Consult a local electrical contractor or the local planning and zoning office for details and regulations.
 - ◆ For your convenience and protection write the serial number of your Wind Generator on the front of this manual. Store your purchase invoice with this manual as well. You will need this information in the event of a warranty claim. It also helps our customer service department when you have questions about your Wind Generator.

Thank you.

Manufactured in CHINA

Important Features of the S-600

★ **UNIQUE FUNCTION IN THE WORLD!!!**

★ **SMART VOLTAGE CHANGE:** Would you want to change the output voltage? This is very easily, just change the position of the switch on the bottom of body. The 12V system is fit for lower wind speed and the 24V system is fit for higher wind speed.

★ **ROTATE = CHARGE:** The S-600 make use of a super voltage boosting technology which allows the Wind Generator to reach charging voltage at a very low wind speed (3m/s). The wonderful thing is, just in the condition of 300RPM, the 24V system can start to charge. (Remark: 12V system does not use the voltage boosting technology, but with the benefit of the top design for the blades, alternator and circuit, the charging condition of S-600 is much better.

■ **AERODYNAMICS & ELECTRONICS & TELEVISION**

● **Smallest and Powerfulest:** With the highly efficient blades, controller and alternator, the S-600 can provide the maximum output in the world at the same size, weight and rotating diameter.

● **Whole Protection:** The S-600 provide the best protection, for example, the voltage auto-brake, slow down in strong wind (Hysteresis Braking), shut down completely in cyclone, battery charge protect, and so on.

● **Over-speed Protection:** Fully "utilize" wind power, the blades will not be braked in the speed from 0m/s to 25m/s. Once the Wind Generator "sense" the wind speed higher than 25m/s, it will shut down completely and stop charging.

● **Constant Current Charge:** In the same wind speed condition, when the battery is becoming fuller and fuller, the charging current of the common wind generator will be less and less, but S-600 can always keep steady charging current, so it can fully make use of the wind's energy, and, at the same time, it can also effectively protect your battery!

■ **MATERIAL**

● **CFRP Blades:** The rotor blades are made of CFRP, and manufactured by precise injection process, so S-600 has the rigidest, the best electric and the minimal vibrant blades.

● **Magnalium Frameworks:** All frameworks are made of magnalium, just as the body, the face, the hub, the yaw shaft, etc. This material is very anticorrosive and very hard.

■ **ACCESSORIES**

● **Stop Switch:** We provide a stop switch (50 amps D.C.), which can be used to "stop" the Wind Generator for service or any other reason. You will find it very useful and necessary.

● **Circuit Breaker:** We provide a "slow-blow" type circuit breaker (15 amps D.C.), which can be used to disconnect the battery and prevents the possibility of further damage in the event of a system or Wind Generator failure.

● **Corrosion Inhibitor:** A capsule of corrosion inhibitor has been included with your Wind Generator product. The important features include anticorrosive, sealed, heat-resistant, etc. It is very useful for mounting the blade set to the hub and tightened the screws.

Table of Contents

1. Safety Precautions 3
 1.1 Mechanical Hazards 3
 1.2 Electrical Shock Hazards 3

2. Package Contents 3

3. Specifications 4
 3.1 Technical Specifications 4
 3.2 Performance Specifications 4
 3.3 Sphere of Operation 5
 3.4 Exploded View 6

4. Electrical System 7
 4.1 System Wiring Diagrams 7
 4.2 Over-speed Protection 8
 4.3 Smart Voltage Change 8
 4.4 Voltage Regulator 8
 4.5 Circuit Breaker 9
 4.6 Stop Switch 10
 4.7 Grounding 10
 4.8 Operation Conditions 11

5. Siting 13

6. Tower 14

7. Installation Instructions 15
 7.1 Required Tools 15
 7.2 Pre-Check 15
 7.3 Installation Operation 16

8. Trouble Shooting 20
 8.1 Assembly 20
 8.2 Electrical System 20
 8.3 Elevation 21

9. Maintenance 22

10. Warranty Card 23

1. SAFETY PRECAUTIONS

Safety must be the primary concern as you plan the location, installation and operation of the Wind Generator, there are inherent dangers involved with any electrical and/or mechanical equipment.

1.1 MECHANICAL HAZARD

Do not approach the machine while the blades are spinning-they can cause serious injury!

CAUTION: DO NOT INSTALL THE WIND GENERATOR WHERE ANYONE CAN APPROACH THE PATH OF THE BLADES.

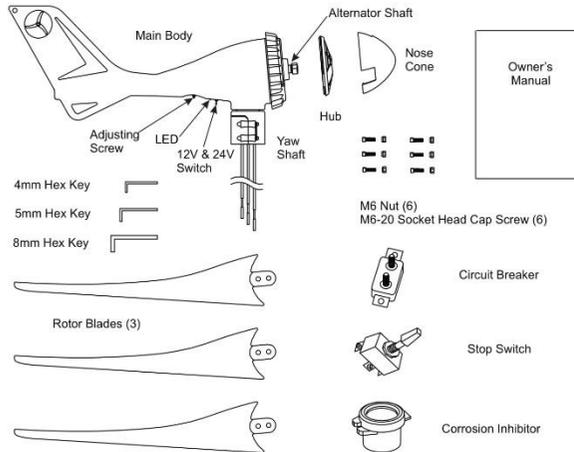
1.2 ELECTRICAL SHOCK HAZARD

The Wind Generator can produce higher than nominal voltages when running open circuit. Keep the output wires shorted initially and carefully follow the installation instructions.

CAUTION: FUSE ALL CONNECTIONS TO MINIMIZE THE RISK OF FIRE AND/OR AN ELECTRICAL FAILURE.

2. PACKAGE CONTENTS

Compare the parts shown in the following figure to ensure that the contents of the box contain all necessary parts.



3. SPECIFICATIONS

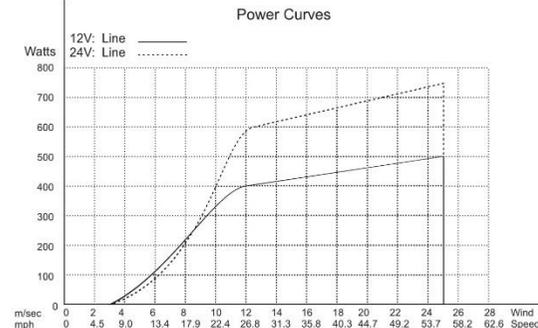
3.1 TECHNICAL SPECIFICATIONS

Configuration	3 blades, upwind	
Rotor Diameter	46.9 inches (1.191 meters)	
Net Weight	13.9 lb. (6.3Kg)	
High-speed control	Hysteresis Braking (slowdown)	
Over-speed Protection	Hysteresis Braking (shut down)	
Electrical Voltage	DC 12V / DC 24V (Voltage Smart Change)	
	12V	24V
Rated Power	400Watts	600Watts
Max Power	550Watts	750Watts
Start up wind speed	3m/sec (6.7 mph)	
Start Charging wind speed	2.5m/sec (5.6 mph)	
Rated wind speed	12.5m/sec (28 mph)	
Incision wind speed	25m/sec (56 mph)	
Survival wind speed	60m/sec (134mph)	

REMARK:
1m/sec = 2.237mph
1mph = 0.4477m/sec

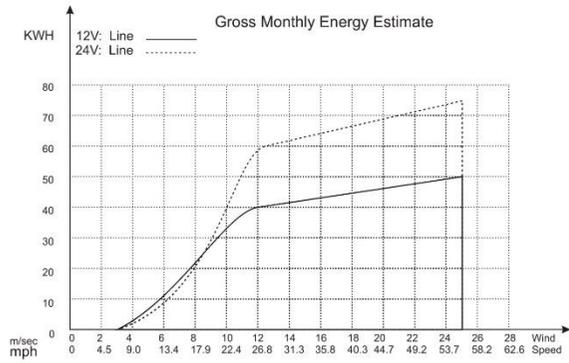
3.2 PERFORMANCE SPECIFICATIONS

You can use this formula to calculate the power [watts]: Power = Voltage* Amps.



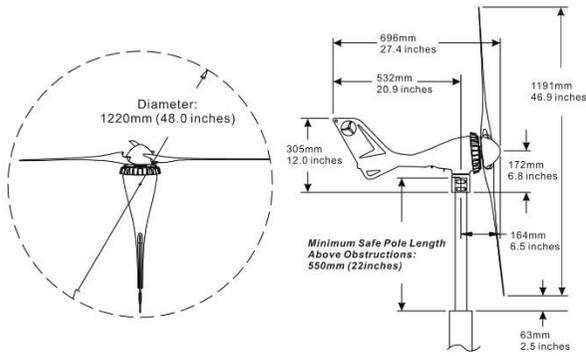
When the voltage of Wind Generator rises above battery voltage, current begins to flow, the greater the difference in voltage, the greater the current is. With the same wind speed, the battery voltage is lower, the current is greater.

NOTE: You should expect to test outputs along the curve show above.

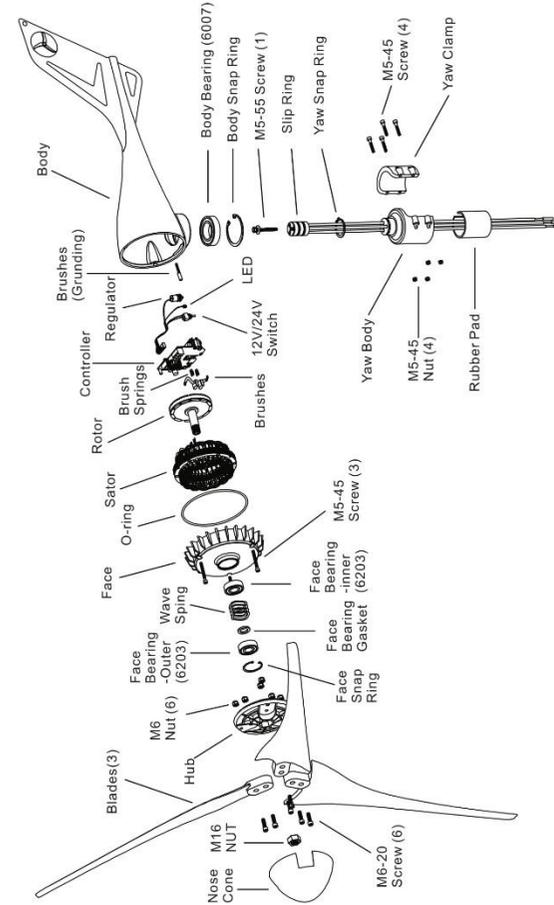


The energy calculations were done with standard statistical wind speed distributions (Rayleigh distribution, k=2.).

3.3 SPHERE OF OPERATION

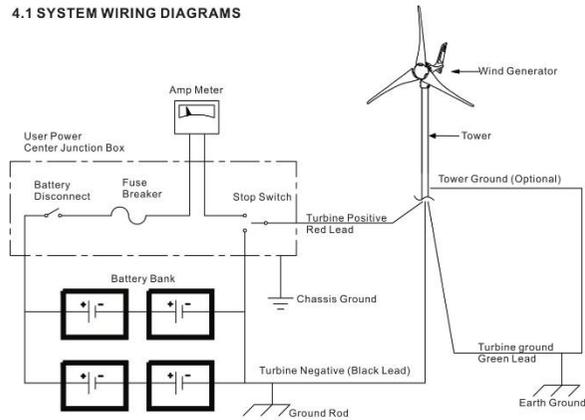


3.4 EXPLODED VIEW



4. ELECTRICAL SYSTEM

4.1 SYSTEM WIRING DIAGRAMS



Higher input voltages from additional Wind Generators, solar panels, fuel-powered generators etc., can trick the Wind Generator's controller into sensing the battery in full charge, and the controller will prematurely stop charging. It will not harm the Wind Generator, just cause to slow down or stop spin. Please disconnect the other charging sources to determine the possible interference source.

You can wire the Wind Generator through most "power centers". However, if you experience interference, you must bypass it and wire the Wind Generator directly to the battery bank to its own set of battery posts. Allow the Wind Generator to operate independently, monitor the battery and charge is necessary.

CAUTION: DO NOT CONNECT WIND GENERATOR POSITIVE TO BATTERY NEGATIVE AND WIND GENERATOR NEGATIVE TO BATTERY POSITIVE FOR EVEN A SECOND, OR ELSE WILL DAMAGE THE WIND GENERATOR'S CONTROLLER AND VOID YOUR WARRANTY. (IF YOU ARE UNCERTAIN OF THE POLARITY OF THE WIRES, SIMPLY SPIN THE ROTOR SHAFT AND MEASURE THE VOLTAGE DIRECTION WITH A VOLT METER).

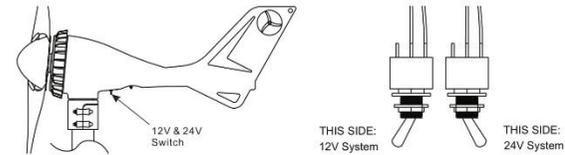
NOTE: One bad battery can create high voltages (16-18 volts) and stop the Wind Generator from charging, check the condition of each individual battery. Consult the battery manufacturer for testing individual batteries or cells.

NOTE: You may use an external regulator which should be "diversion load" types, be sure that the adjusting screw on the Wind Generator turned all the way clockwise.

4.2 OVER-SPEED PROTECTION

Fully "utilize" the wind power, the blades will not be braked from 0m/s to 25m/s. Once the Wind Generator "sense" the wind speed higher than 25m/s, it will shut down completely and stop charging.

4.3 SMART VOLTAGE CHANGE



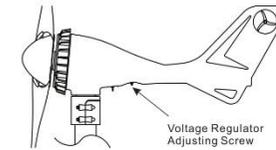
Would you want to change the output voltage? This is very easy, just change the position of the switch on the bottom of body. The 12V system is fit for lower wind speed and the 24V system is fit for higher wind speed. So, if you know your average wind speed is lower, please set the voltage to 12V. If the average wind speed is higher, please set the voltage to 24V.

NOTE: If you choose the 12V system but connected with the 24V batteries, the LED will always lighten and the blades will rotate very difficult.

NOTE: If you choose the 24V system but connected with the 12V batteries, you may not find any problem but will cause your batteries overcharge and disabled!

NOTE: Marked with steel seal 12V and 24V on the bottom of the body.

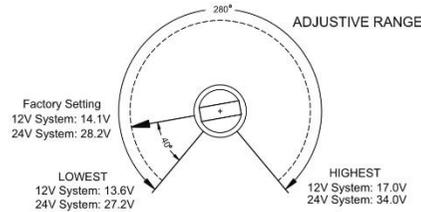
4.4 VOLTAGE REGULATOR



You can set the Wind Generator's stop charging point by the voltage regulator shown above.

To ensure proper charging, the Wind Generator continually momentarily stop charging and monitors the battery voltage and compares it to the voltage regulator's set point. When the battery voltage reaches the regulator's set point voltage, the Wind Generator will shut down and stop charging, the LED will always fast blink.

Once the Wind Generator shut down and stop charging, it will wait for the battery voltage to drop and continually monitors the battery voltage. Normal charging will resume when the battery voltage drops slightly below the fully charged level.



The stop charging point's factory setting is marked on the casting with a small indentation aligned with the screw slot. From the factory setting, rotate the adjusting screw 40 degree for each 0.48 (0.97) volt change desired. For example, if you want to set your voltage regulator to 14.6 (29.2) volts, turn the adjusting screw clockwise by 40 degree.

Voltage System	Stop Charging Point (Factory Setting)	Stop Charging Point Adjustable Range	Resume Charging Point (Factory Setting)
12V	14.1V	13.6V to 17.0V	12.6V
24V	28.2V	27.2V to 34.0V	25.2V

NOTE: The 12V system recharging point is about 1.5 volts less than the stop charging point (24Vsystem: 3 volts).

The adjusting screw will provide regulation settings for voltage ranges at least as wide as those shown above. The actual voltage set point at the extreme counter-clockwise position may be as much as 10% lower than the value listed, and at the extreme clockwise position may be up to 10% higher than the value listed.

NOTE: Turning "up" the stop charging set point will not increase the Wind Generator's output voltage, amperage and power output.

CAUTION: TURNING THE ADJUSTING SCREW COMPLETELY CLOCKWISE WILL OVERCHARGING YOUR BATTERIES.

CAUTION: BAD BATTERIES, INLINE DIODES, UNDERSIZED WIRES AND BAD CONNECTIONS WILL CAUSE THE WIND GENERATOR TO GET A WRONG READING OF THE BATTERY VOLTAGE AND WILL NOT WORK PROPERLY.

4.5 CIRCUIT BREAKER

We provide a "slow-blow" type circuit breaker (15 amps D.C.), which can be used to disconnect the battery and prevents the possibility of further damage in the event of a system or Wind Generator failure, it should be placed between the stop switch and the batteries.

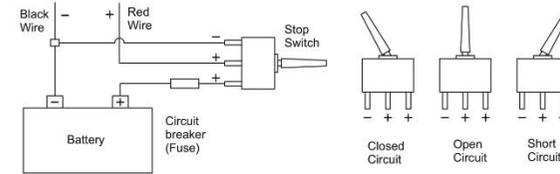
Recommended Size for Slow-Blow Circuit Breakers

12-volt system: 15 amps D.C. 24-volt system: 15 amps D.C.

These accessories are difficult to find due to the high DC outputs. They may be available at an automotive parts store. Otherwise you can purchase them from your dealer/distributor or directly from Greatwatt Power.

4.6 STOP SWITCH

We provide a stop switch (single-pole, double-throw, 50 amps D.C.), which can be used to "stop" the Wind Generator for service or any other reason. The switch disconnects the battery and then shorts the Wind Generator wires causing the blades to stop spinning (in high winds the blades will spin slowly). Shorting the Wind Generator will not cause any damage or additional wear. You will find it very useful and necessary.



NOTE: The center post must be positive from the Wind Generator. Outside posts can be swapped as either battery positive or battery/ Wind Generator negative.

CAUTION: OPEN CIRCUIT CAN CAUSE EXCESSIVE WEAR TO WIND GENERATOR.

Recommended Size for Stop Switch

12-volt system: 50 amp D.C. 24-volt system: 30 amps D.C.

4.7 GROUNDING

For long-term operation and protecting the electronics, properly grounding your battery bank and grounding tower for lightning and static protection is very important. Grounding procedures must be followed along with any local electrical codes.

The green lead wire must be connected to the system earth ground. This is usually done by connecting the green lead wire to a ground rod near the base of the tower. For additional lightning and static protection, another wire should connect this ground rod to the tower pipe.

The negative wire of your system should also be connected to a ground. This is usually done by connecting a wire from the negative battery terminal to a nearby ground rod. Wires with the same ratings as the positive and negative wires must connect all system grounds.

A ground electrode can be made for systems without an existing system ground from an 8 ft. (2.4 m) section of 3/4" (19 mm) galvanized pipe or conduit, or an 8 ft. (2.4 m) section of 5/8" (16 mm) iron or steel rod. This ground electrode must be buried completely beneath the soil, at no more than 45 degrees from vertical, or horizontally at least 2 1/2 ft. (75 cm) beneath the surface. It is recommended that the ground electrode be installed as close as possible to the batteries for maximum lightning protection. The base of the tower is also a good location for an appropriate surge arrester.

CAUTION: IMPROPER GROUNDING WILL DAMAGE YOUR WIND GENERATOR AND VOID YOUR WARRANTY.

24V SYSTEM CONDITIONS

OPERATING CONDITIONS	WIND SPEED (m/s)	BATTERIES VOLTAGE	CHARGE	LED	DETAIL
CONNECTED TO THE 12V BATTERIES	0-3	Any	No	Off	Blades no spin.
		<28.2V	Yes	On	Circle charge. (Once the blades start rotate, even the wind speed drop to 2.5m/s, the Wind Generator still can charging)
	3-7	=28.2V	No	Fast blink	Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
CLOSED CIRCUIT	7-25	=25.2V	Yes	On	Normal charging operation will resume.
		<28.2V	Yes	On	Normal charge. (Some times the blades will break down a few seconds for prevent overvoltage)
		=28.2V	No	Fast blink	Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
OPEN CIRCUIT	>25	=25.2V	Yes	On	Normal charging operation will resume.
		Any	No	Slow blink	Shut down completely for 1 minutes and then resume.
		Any	No	Off	Blades no spin.
SHORT CIRCUIT	>4	Any	No	Slow blink four times each "oscillating"	Oscillating.
		Any	No	Off	Blades no spin.

NORMAL OPERATION: Wind generator connect to the batteries.
OPEN CIRCUIT: Wind generator disconnected from the batteries.
SHORT CIRCUIT: Wind generator shorted or switch the Stop Switch.
SHUT DOWN COMPLETELY: The 24V system need high voltage for start to charging, we make use of a super voltage boosting technology which allows the Wind Generator to reach charging voltage at a very low wind speed(3m/s), and this charge must be circled.
Circle charge: The 24V system need high voltage for start to charging, we make use of a super voltage boosting technology which allows the Wind Generator to reach charging voltage at a very low wind speed(3m/s), and this charge must be circled.
Normal charging operation will resume: Normal charging operation will resume.
Normal charge: Normal charge. (Some times the blades will break down a few seconds for prevent overvoltage)
Shut down completely and wait for the battery voltage to drop: Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
Normal charging operation will resume: Normal charging operation will resume.
Blades no spin: Blades no spin.
Oscillating: Oscillating.
Blades no spin, but the blades still spin slowly: Shut down completely, but the blades still spin slowly.

12V SYSTEM CONDITIONS

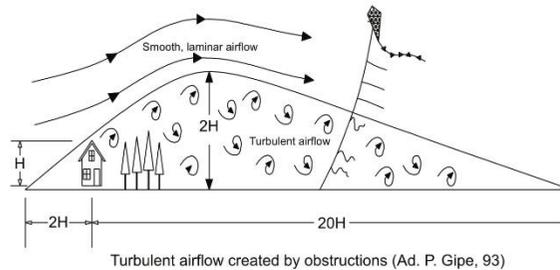
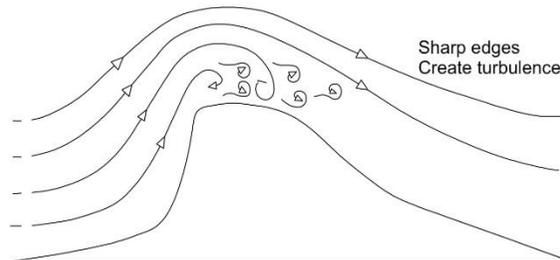
OPERATING CONDITIONS	WIND SPEED (m/s)	BATTERIES VOLTAGE	CHARGE	LED	DETAIL
CONNECTED TO THE 24V BATTERIES	0-3	Any	No	Off	Blades no spin.
		<14.1V	Yes	On	Normal charge. (Once the blades start rotate even the wind speed drop to 2.5m/s, the Wind Generator still can charging)
	3-7	=14.1V	No	Fast blink	Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
CLOSED CIRCUIT	7-25	=12.8V	Yes	On	Normal charging operation will resume.
		<14.1V	Yes	On	Normal charge.
		=14.1V	No	Fast blink	Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
OPEN CIRCUIT	>25	=12.8V	Yes	On	Normal charging operation will resume.
		Any	No	Slow blink	Shut down completely for 1 minutes and then resume.
		Any	No	Off	Blades no spin.
SHORT CIRCUIT	>4	Any	No	Slow blink four times each "oscillating"	Oscillating.
		Any	No	Off	Blades no spin.

NORMAL OPERATION: Wind generator connect to the batteries.
OPEN CIRCUIT: Wind generator disconnected from the batteries.
SHORT CIRCUIT: Wind generator shorted or switch the Stop Switch.
SHUT DOWN COMPLETELY: The 12V system need high voltage for start to charging, we make use of a super voltage boosting technology which allows the Wind Generator to reach charging voltage at a very low wind speed(3m/s), and this charge must be circled.
Circle charge: The 12V system need high voltage for start to charging, we make use of a super voltage boosting technology which allows the Wind Generator to reach charging voltage at a very low wind speed(3m/s), and this charge must be circled.
Normal charging operation will resume: Normal charging operation will resume.
Normal charge: Normal charge. (Some times the blades will break down a few seconds for prevent overvoltage)
Shut down completely and wait for the battery voltage to drop: Shut down completely and wait for the battery voltage to drop.
Normal charging operation will resume: Normal charging operation will resume.
Blades no spin: Blades no spin.
Oscillating: Oscillating.
Blades no spin, but the blades still spin slowly: Shut down completely, but the blades still spin slowly.

4.8 OPERATION CONDITIONS

5. SITING

To ensure good performance from the Wind Generator, it is important that care is taken in the site of the machine. Buildings, trees and rocky outcrops etc. disrupt the smooth flow of wind creating a "Wind Shear" with the wind velocity nearer the ground being slower than that higher up. Turbulence is also created by these obstructions. Turbulence is detrimental as the swirling air causes the Wind Generator to yaw continually thus stressing the mechanical parts and greatly increasing wear and tear.



Therefore, as a general rule the Wind Generator should be mounted twice as high as any such obstructions. The power obtained from the wind is proportional the cube of the wind speed, and the wind speed increases with height from the ground. A 26% increase in wind speed from a higher tower will yield a 100% increase in power from the Wind Generator. A little more money spent on a higher tower will harvest the same power as 2 machines! Preference should be given to the prevailing wind direction, but it should be noted that tall features behind the Wind Generator can also slow down the wind flow through the Wind Generator.

The Wind Generator should be mounted on a tower a minimum of 25' (8 meters) above any surrounding objects within a 500' (150m) radius. If this is not possible, then place it as high as you can. If this is a roof top installation, it is important there are no objects around the structure that may block the wind.

7. INSTALLATION INSTRUCTIONS

7.1 REQUIRED TOOLS

Circuit Breaker (included)
Stop Switch (included)
Corrosion Inhibitor (included)
4mm hex key wrench (included)
5mm hex key wrench (included)
8mm hex key wrench (included)

Power cables (not included):
6 sq mm (Europe Wire Gage) stranded or #10 AWG (American Wire Gage) stranded.

Batteries (not included)
Steel Pipe: 1 1/2", Schedule 40 steel pipe (Actual OD 1.875 inches, 48mm) (not included)
Torque wrench with 4mm, 5mm, and 8mm hex drives (not included)
Soldering iron or propane torch (not included)
Rosin core solder (not included)
Electrical tape or 1/4" (6-7mm) heat shrink (not included)
Wire strippers (not included)
Wire crimpers (not included)

7.2 PRECHECK

Follow these processes shown below to verify if your Wind Generator is working correctly.

Spin rotor shaft with your fingers provided while at the same time connecting and disconnecting the Wind Generator's positive and negative wires. With the wires connected, the rotor shaft should become more difficult to rotate. With the wires disconnected, it should spin freely.

Every time connect the Wind Generator's wires (RED= Positive, BLACK = Negative) directly to the set of posts of the battery, the LED will slow blink four times to indicate that the controller is running properly.

Keep the Wind Generator connect with the battery, with a 8mm hex drive in an electric drill, use the drill drive to let the rotor shaft spin. In the 12V system, the rotor should spin freely and the LED should remain off below 500 RPM. At 500 RPM or above, the Wind Generator should be charging and the LED should turn on, you should feel some resistance on the rotor shaft but should not difficult to rotate.

NOTE: The 24V system start to charge only in the condition of 300 RPM or above!

NOTE: We recommend that the battery voltage should be lower, or the Wind Generator need high RPM to charge the battery. High battery voltage may activate the regulation mode during this test.

CAUTION: PUSHING ROTOR SHAFT INTO THE BODY WILL DAMAGE THE CONTROLLER.

If these conditions shown above do not exist, please contact your dealer or Greatwatt Power.

7.3 INSTALLATION OPERATION

Choose a calm day and have someone available to help during the installation process.

NOTE: THE BLADE EDGES ARE SHARP. PLEASE HANDLE IT CAREFULLY.

NOTE: DO NOT install the blade assembly until the body is mounted on the tower.

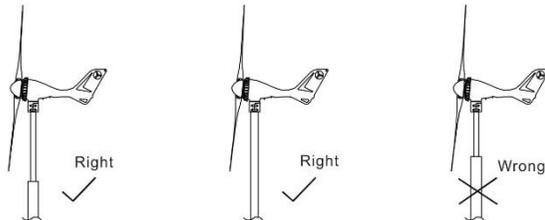
CAUTION: ALL BATTERIES MUST DISCONNECTED THROUGHOUT THE INSTALLATION PROCESS!

CAUTION: DO NOT INSTALL THE WIND GENERATOR WHERE THE PATH OF THE BLADES CAN BE REACHED DURING NORMAL OPERATION! NEVER APPROACH THE WIND GENERATOR DURING OPERATION!

USE COMMON SENSE AND PLEASE BE CAREFUL

Please follow these steps to install your Wind Generator:

1/ We recommend that mounted your Wind Generator on 1 1/2", Schedule 40 steel pipe (Actual OD 1.875 inches, 48mm). Larger pipes will reduce the blade tip clearance and may cause damage to the blades. If you want to use larger pipe, refer to the figure show below.



NOTE: No more than 8 feet (2.5m) of pipe should extend from the upper most support.

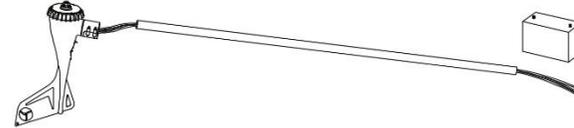
CAUTION: DO NOT USE PLASTIC PIPE. USE ONLY METAL PIPE FOR TOWER.

2/ Choose your desired voltage system by turning the knob of 12V & 24V Switch, Refer to **Section 4.3 for VOLTAGE SMART CHANGE**. Prepare the appropriate Battery Bank, Circuit Breaker, Amp meter, etc.

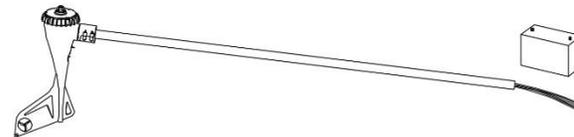
3/ Run the wire through the pipe and drag the wires near to the batteries (**do not connect to the battery**), strip the insulation back from each set of wires.



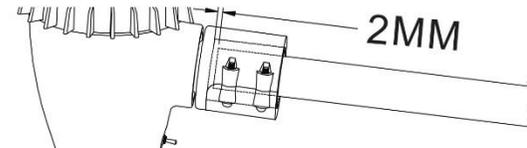
4/ Connect the Wind Generator to the wires and insulate the connections using either heat shrink tubing or a quality electrical tape.



5/ Slide the yaw shaft all the way down over the end of pole being careful not to pinch the yaw wires. Be sure to leave enough slack in the wires so that if necessary, the Wind Generator can be removed.



6/ Move the yaw shaft back up 1/8th inch (2mm) to prevent the bottom of the yaw from contacting the top of the pole. The only contact between the tower and yaw is through the rubber pad which will reduce the transmission of noise down the tower. Once the yaw shaft is on the tower, firmly tighten the yaw clamp screws with the 4mm hex key to 3-5 foot pounds (4.0-6.5Nm). Be sure that it is securely attached to the mounts.

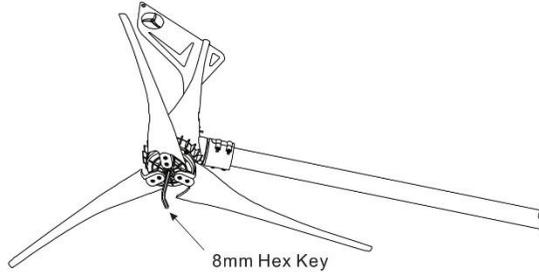


7/ Mark both ends of all the wires with tape to identify which is negative, positive and ground.

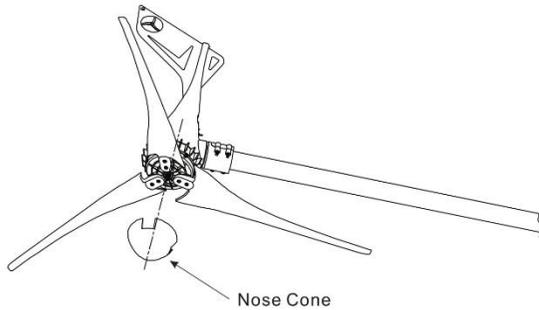
Wire Color- Codes:
RED = Positive
BLACK = Negative
GREEN = Earth Ground

NOTE: If you are uncertain of the wires polarity, simply spin the rotor shaft and measure the voltage direction with a volt meter.

11/ Insert the 8mm hex key into the rotor shaft and thread the nut on by spinning the blades assembly. Holding the blades assembly and tightening the nut with the 8mm hex key to 50-60 foot lbs. (65-78Nm). Finally, spin the blades to be sure they turn freely.



12/ Place the nose cone over the center line of the blades assembly and snap the nose cone into place. Carefully check it is secure by firmly pulling on and be sure all three edges are catch. Don't worry if the nose cone missing, it will not affect the performance of the Wind Generator.



13/ Run all wires close to the batteries. Connect the Circuit Breaker, Stop Switch, Amp Meter (if you needed) etc., Refer to Section 4.1 for SYSTEM WIRING DIAGRAMS. Be sure to crimp and solder the connections using the appropriate sized connectors.

CAUTION: DO NOT CONNECT TO THE BATTERIES!

14/ Make sure that your system is properly grounding. Refer to Section 4.7 for GROUNDING.

CAUTION: IMPROPER GROUNDING WILL DAMAGE THE WIND GENERATOR AND VOID YOUR WARRANTY!

15/ Carefully raise the tower and secure base and/or guy cables. **CAUTION: ENSURE THAT THE TOWER IS VERTICAL SO THAT THE WIND GENERATOR CAN YAW (TURN INTO THE WIND) PROPERLY.**

16/ Make sure that all Circuit Breakers and Stop Switch are in the off or stop position, then connect wires to the batteries (Red wire to Positive, Black wire to Negative).

17/ Turn on the Circuit Breakers and Stop Switch, you will find the LED slow blink four times to indicate that the controller is running properly.

CONGRATULATIONS! You have completed the installation process now.

8. TROUBLE SHOOTING

If you have followed the installation instructions, but the Wind Generator still does not work properly, please carefully review your installation and refer this section shown below.

8.1 MECHANICAL SYSTEM

If the blades spin "flutter" and the sound noise, please check by placing the 8mm hex key in the rotor shaft, holding it and turn the blades assembly to tighten.

If the sound is still noise after the process shown above, that means the top of the pole is touched the bottom of the yaw shaft, loosen the yaw shaft screws and move the Wind Generator up 1/8" inch (2mm) and then re-tighten the screws.

8.2 ELECTRICAL SYSTEM

If you find the blades always stall or rotate slowly even then wind is very high:

- Be sure that your Stop Switch is properly installed.
- Be sure that you have not any electrical shorts in the system.

If you find the blades continually rotate like "oscillating":

- Be sure that you have not any open circuit in the system.
- Be sure that the fuse or breaker does not expire.

If you find the Amp Meter has no any indication:

- Be sure that your amp meter is not an averaging style and measure the current through the positive wire.
- Be sure that your amp meter is hooked up properly and connect with the proper type.

If you find the Wind Generator prematurely stop charging but the batteries are not fully charged, please check by these steps list below:

- Be sure that no bad batteries in the Electrical System.
- Be sure that no diodes in the line between the Wind Generator and the battery.
- Be sure that no undersized wires in the line between the Wind Generator and the battery.
- Be sure that no bad connections in the line between the Wind Generator and the battery.
- Be sure that turn the Wind Generator's Voltage Regulator adjusting screw all the way clockwise if you are using an external regulator. The External Regulators should be "diversion load" types.
- Be sure that measure the voltage at the battery terminals.

8.3 ELEVATION

An important fact to keep in mind is elevation. The higher a Wind Generator is from sea level, the lower the air density. Air density is directly proportional to the output of your Wind Generator. Here are some general numbers to keep in mind when determine the maximum output that can be expected from a Wind Generator.

FEET	METER	OUTPUT POWER
1-500ft	0-150m	100%
500-1,000ft	150-300m	97%
1,000-2,000ft	300-600m	94%
2,000-3,000ft	600-900m	91%
3,000-4,000ft	900-1,200m	88%
4,000-5,000ft	1,200-1,500m	85%
5,000-6,000ft	1,500-1,800m	82%
6,000-7,000ft	1,800-2,100m	79%
7,000-8,000ft	2,100-2,400m	76%
8,000-9,000ft	2,400-2,700m	73%
9,000-10,000ft	2,700-3,000m	70%

9. MAINTENANCE

Although the S-600 has been designed to run for long periods without requiring any maintenance, reliability and performance will be enhanced if you periodically inspect your system. Before perform any inspection, be sure to shut down the Wind Generator.

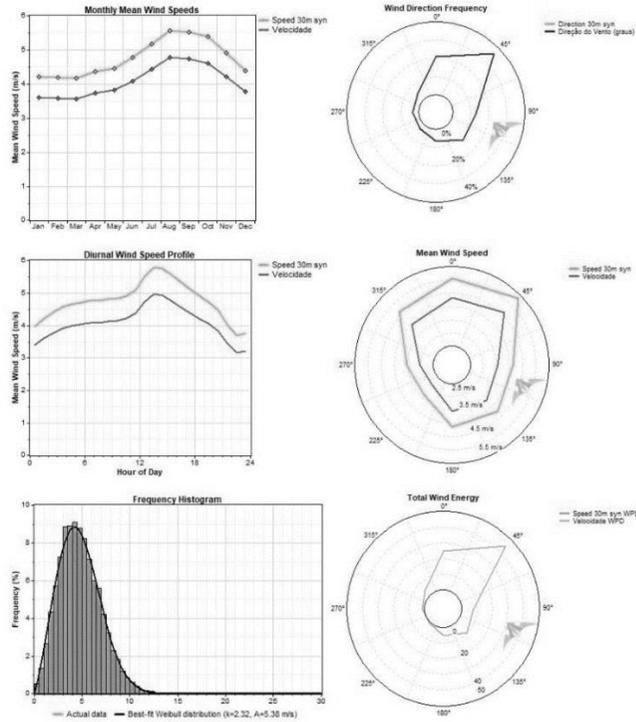
CAUTION: NEVER APPROACH THE BLADES DURING OPERATION.

The following items should be checked two months after the initial installation and then every six months thereafter:

- Be sure that your battery water levels and add distilled water in accordance with manufacturer's recommendation.
- Be sure that all electrical connections are tight and free from corrosion.
- Be sure that the tower is solid and reliable.
- Be sure that the yaw-shaft bolts are tightened to the appropriate torque specification see Section 7.3.
- Be sure that the blades bolts and the hub nuts are tightened to the appropriate torque specification see Section 7.3.
- Be sure that no dirt or debris buildup on the blades and body or may cause a decrease in performance of the Wind Generator and long-term damage that is not covered by the warranty. Wash off any buildup with clean soap and water.
- Be sure that the nose cone is solid and reliable.
- Be sure that no chips, no nicks and no unbalanced of the blades or may cause severe wear, damage, and possible failure.
NOTE: Do not install individual blades. The blades are balanced as sets.
- We suggest replacing the blades and bearings every five years for optimal performance.

ANEXO 4 - RESULTADO ESTENDIDO DA ANÁLISE REALIZADA NO WINDOGRAPHER.

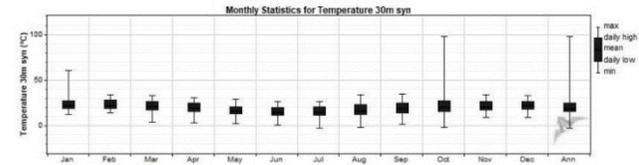
Wind Speed and Direction



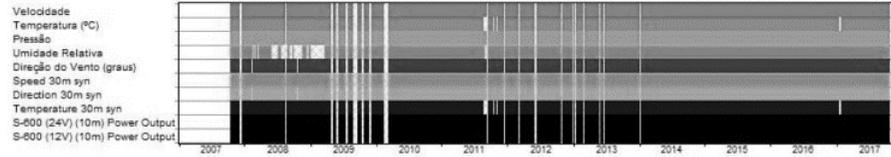
Data Set Properties

Report Created: 18/02/2018 08:37 using Windographer 4.1.3
 Filter Settings: <Unflagged data>, Synthesized

Variable	Value
Latitude	S 24.880000
Longitude	W 53.550000
Elevation	719 m
Start date	16/10/2007 00:00
End date	17/10/2017 09:00
Duration	10 years
Length of time step	60 minutes
Calm threshold	0 m/s
MoMM temperature	19.48 °C
MoMM pressure	937.6 hPa
MoMM air density	1.107 kg/m3
Power density at 50m	125 W/m²
Wind power class	1 (Poor)
Power law exponent	0.14
Surface roughness	0.0135 m
Roughness class	0.84



Data Coverage



Data Column Properties

#	Label	Units	Height	Possible Data Points	Valid Data Points	DRR (%)	Mean	MoMM	Median	Min	Max	Std. Dev
1	Velocidade	m/s	10 m	87,705	86,202	98.29	4.087	4.088	3.900	0.000	24.900	1.864
2	Temperatura (°C)	°C	10 m	87,705	86,014	98.07	19.58	19.60	19.70	-2.30	54.10	5.19
3	Pressão	hPa	10 m	87,705	86,196	98.28	937.7	937.6	937.5	921.7	950.8	3.6
4	Umidade Relativa	%	0 m	87,705	85,494	97.48	76.2	76.1	79.4	0.0	100.0	19.0
5	Direção do Vento (graus)	°	10 m	87,705	86,189	98.27	45.4	88.1	45.0	0.0	315.0	66.4
6	Speed 30m syn	m/s	30 m	87,705	86,202	98.29	4.766	4.768	4.548	0.000	29.040	2.174
7	Direction 30m syn	°	30 m	87,705	86,189	98.27	45.4	88.1	45.0	0.0	315.0	66.4
8	Temperature 30m syn	°C	30 m	87,705	86,031	98.09	19.46	19.48	19.57	-2.43	98.27	5.24
9	S-600 (24V) (10m) Power Output	kW		87,705	86,202	98.29	0.040	0.040	0.016	0.000	0.667	0.060
10	S-600 (12V) (10m) Power Output	kW		87,705	86,202	98.29	0.044	0.044	0.020	0.000	0.445	0.058
11	Air Density	kg/m3		87,705	87,705	100.00	1.107	1.107	1.105	0.047	1.216	0.025
12	Velocidade WPD	W/m²		87,705	86,202	98.29	63	63	33	0	8.485	92
13	Speed 30m syn WPD	W/m²		87,705	86,202	98.29	100	101	52	0	13.460	146

ANEXO 5 - DETALHAMENTO 2D E 3D DE PEÇAS DO AEROGERADOR.

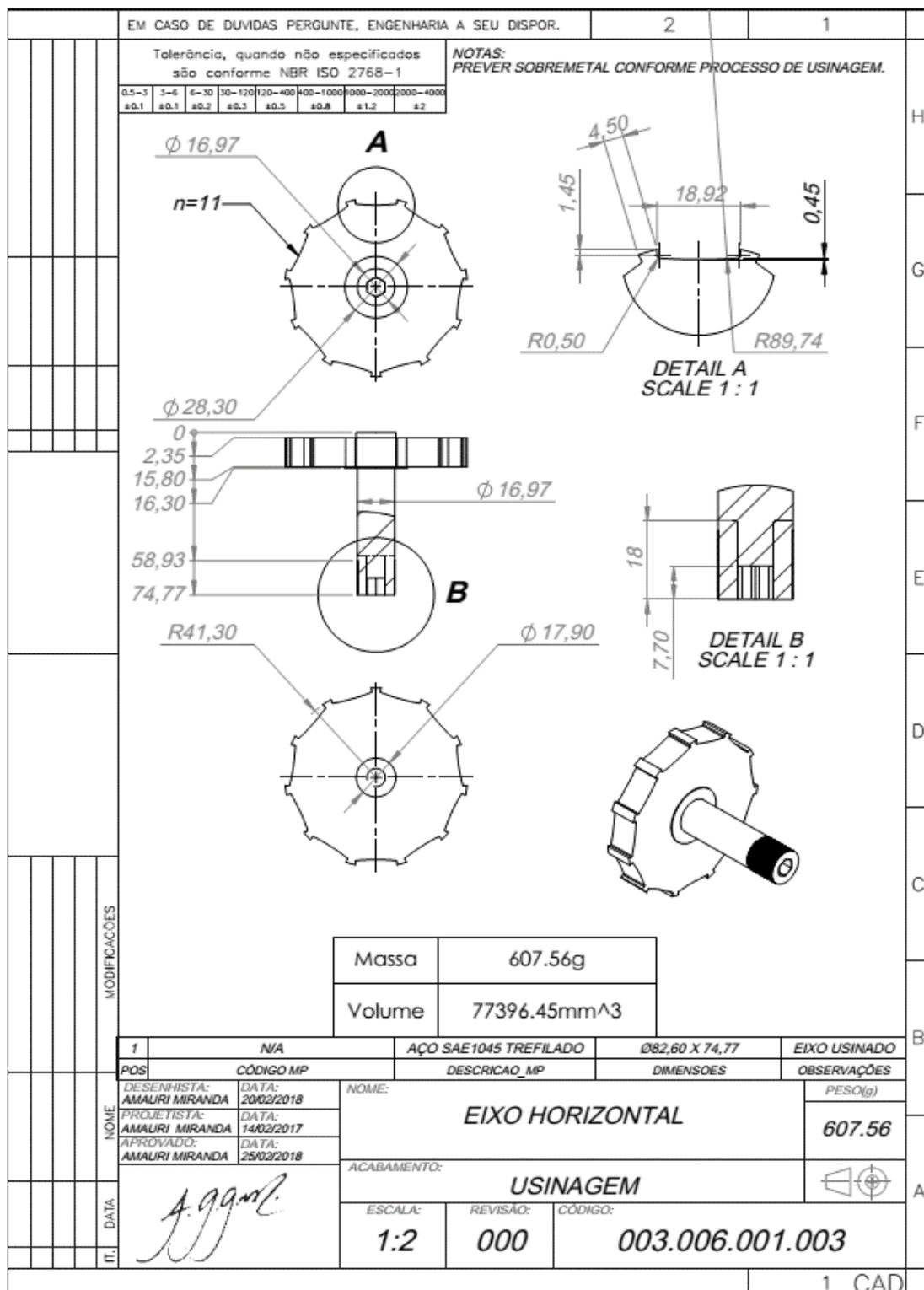


Figura 28: Dimensões detalhada do eixo horizontal.

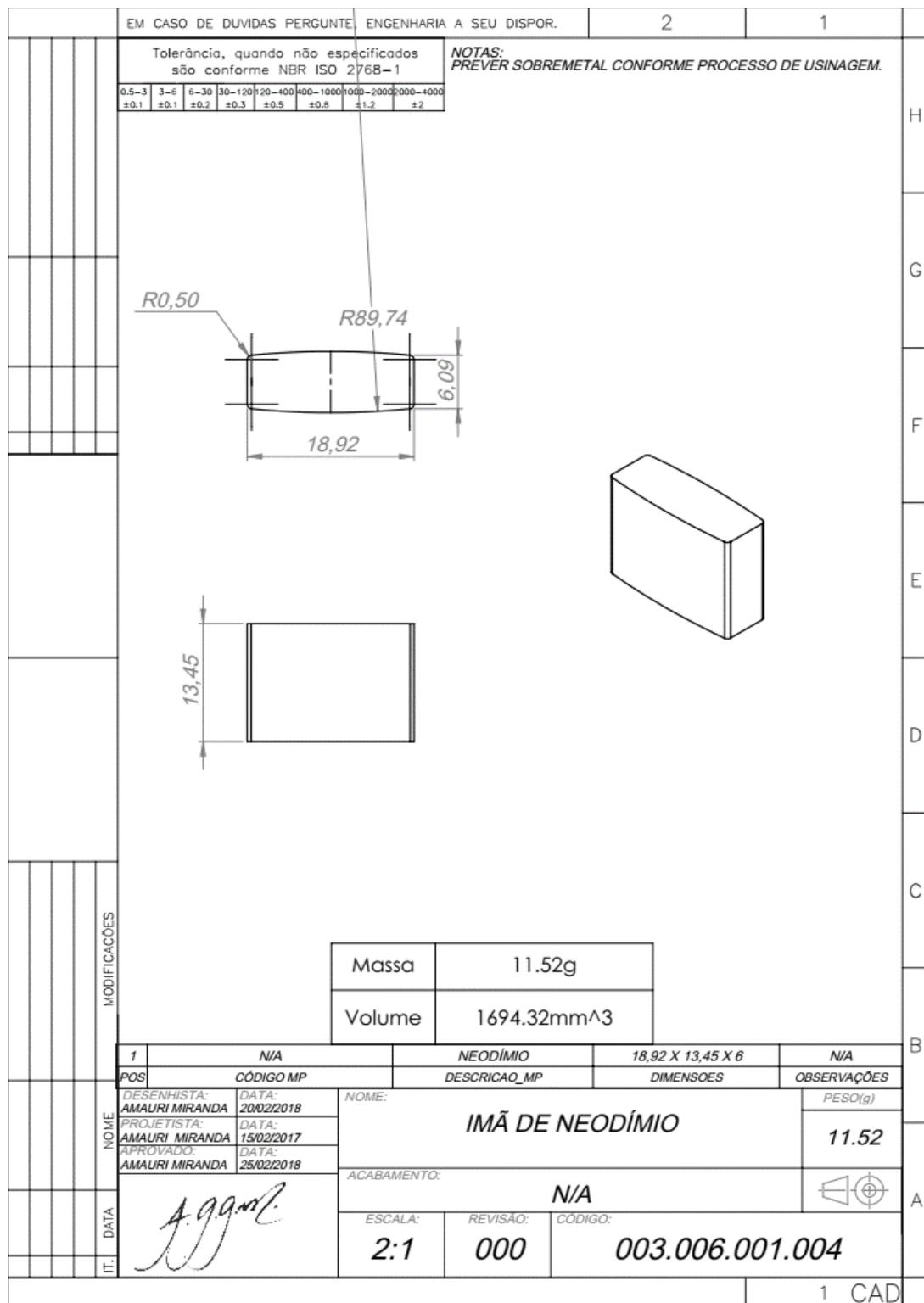


Figura 29: Dimensões detalhada do imã.

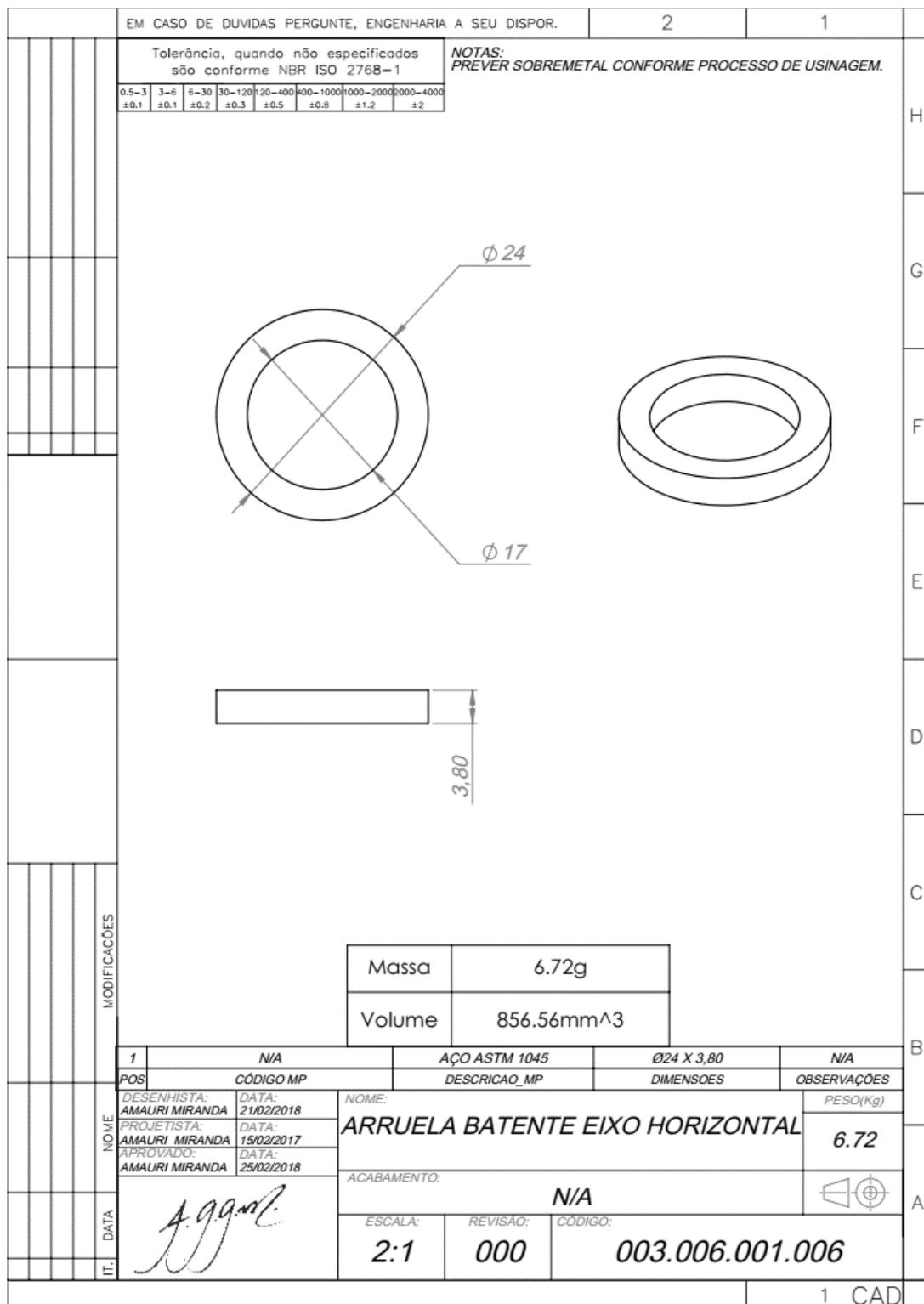
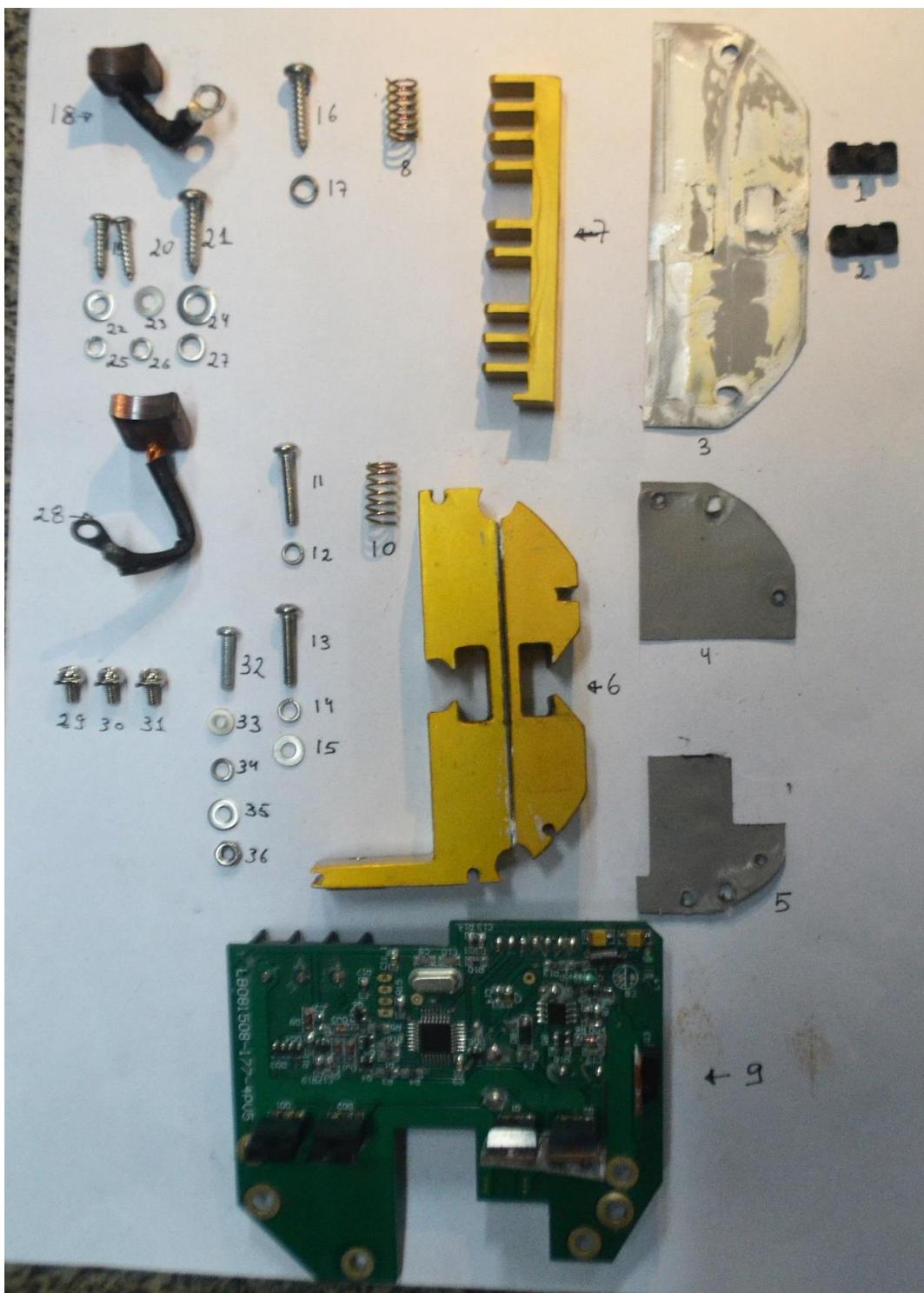


Figura 30: Dimensões detalhada da arruela batente do eixo horizontal.

ANEXO 6 - FOTO DOS COMPONENTES PRESENTES NAS LISTAS 1 E 2 DA TABELA 22.**Figura 31:** Componentes da Lista 1, conforme Tabela 22.

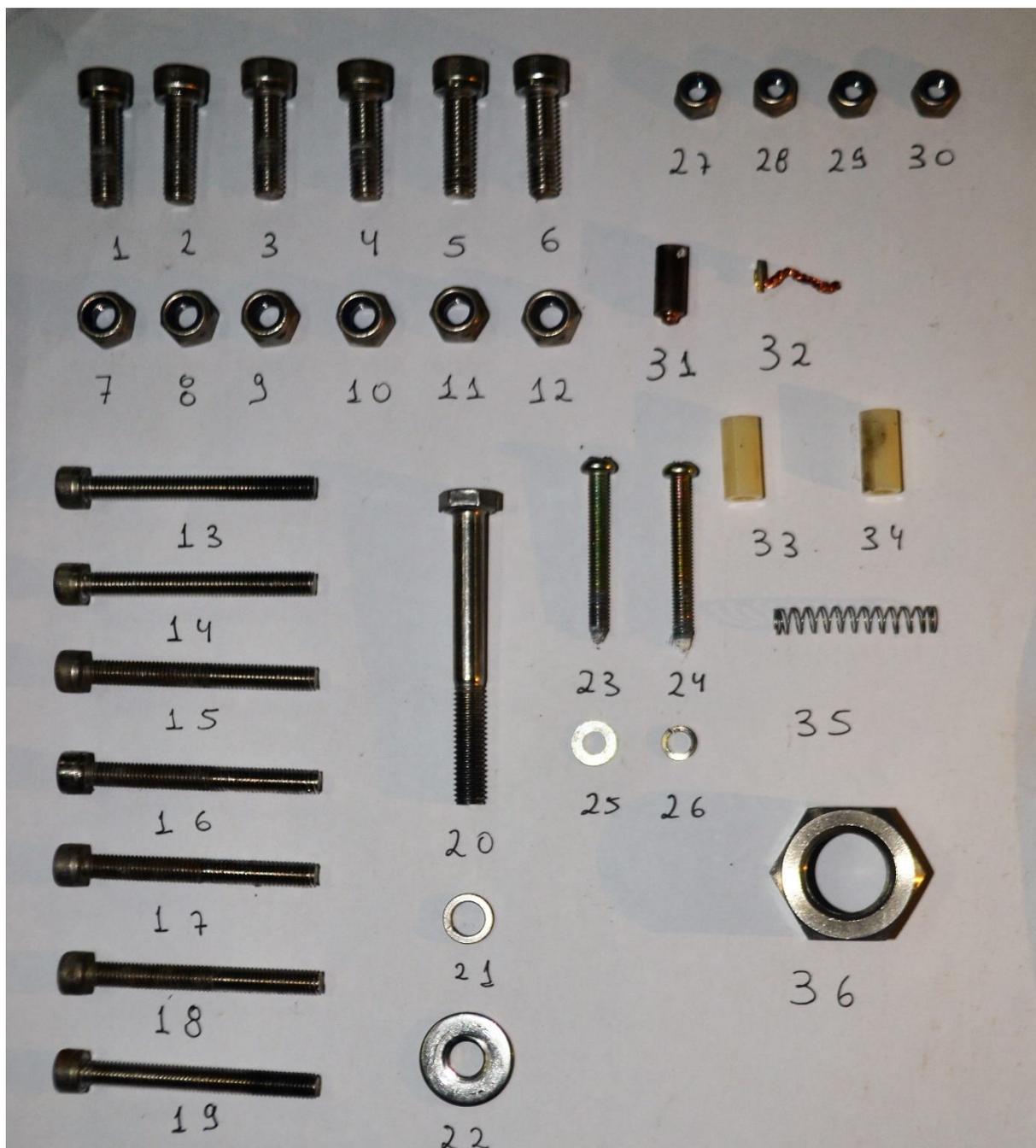


Figura 32: Componentes da Lista 2, conforme Tabela 22.

ANEXO 7 - IMAGENS DOS COMPONENTES DO AEROGERADOR.



Figura 33: Aerogenerador instalado no Projeto Casa, Unioeste



Figura 36: Mancal pás.

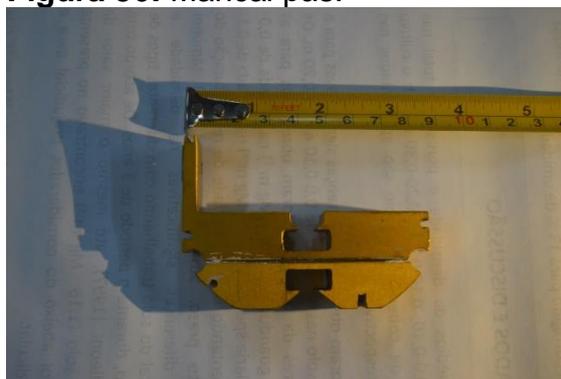


Figura 37: radiador.



Figura 34: Nariz.



Figura 38: Porcas M6, união mancal das pás com pás.



Figura 35: Nacele.



Figura 39: Mola tensora da escova de transmissão.

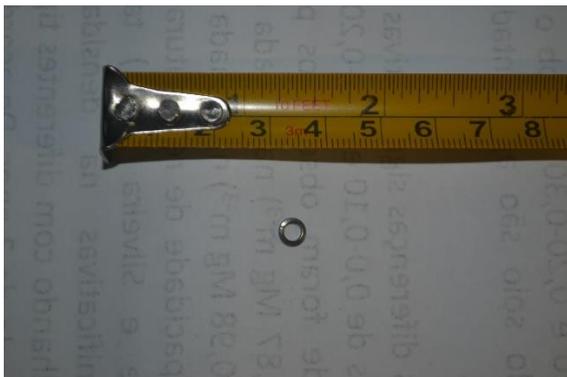


Figura 40: arruela tensora.



Figura 41: Placa.



Figura 42: Escova de transmissão da placa ao eixo escova.



Figura 43: Rolamento.



Figura 44: Anel elástico.



Figura 45: Borracha isolamento contra intempéries posicionada entre o mancal do estator e nacele.



Figura 46: Parafusos M5 x 45 mm, fixação suporte do estator com nacele (3) e fixação yaw (4).



Figura 47: Parafusos M6 x 20, união das pás com mancal das pás.



Figura 48: Porcas M6, união mancal das pás com pás.



Figura 49: Mola escova terra.



Figura 50: Ligação escova terra com parte metálica da nacele.



Figura 51: Escova terra.



Figura 52: Parafusos união placa a nacele.



Figura 53: Parafuso fixa o do eixo escova.



Figura 54: Apoio mancal para fixa o da placa



Figura 55: Porca fixação mancal pás a eixo horizontal.



Figura 56: Pás.



Figura 57: Elemento de fixação do hub no mastro.



Figura 58: Eixo horizontal.

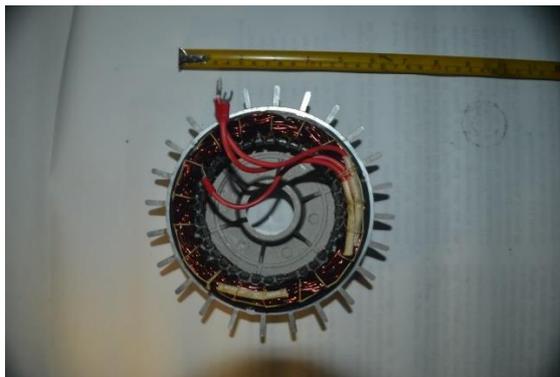


Figura 59: Carcaça e Enrolamento estático



Figura 60: Eixo escova.