



Ivanilda Tavares Cardoso

Licenciatura em Engenharia de Sistemas de Energias Renováveis

Aproveitamento energético do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas (auto-) estradas

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energias Renováveis

Orientador: Professor Doutor Filipe Tiago de Oliveira, FCT/UNL

Coorientador: Professor Doutor Stanimir Valtchev, FCT/UNL

Júri

Presidente: Doutor Mário Fernando da Silva Ventim Neves -
FCT/UNL

Arguentes: Doutora Valentina Borissovna Vassilenko -
FCT/UNL

Vogais: Doutor Filipe Alexandre Ferreira Tiago de Oliveira
- FCT/UNL (Orientador)

18 de Janeiro de 2018



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Ivanilda Tavares Cardoso

Licenciatura em Engenharia de Sistemas de Energias Renováveis

Aproveitamento energético do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas (auto-) estradas

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energias Renováveis

Orientador: Professor Doutor Filipe Tiago de Oliveira, FCT/UNL

Coorientador: Professor Doutor Stanimir Valtchev, FCT/UNL

Júri

Presidente: Doutor Mário Fernando da Silva Ventim Neves -
FCT/UNL

Arguentes: Doutora Valentina Borissovna Vassilenko -
FCT/UNL

Vogais: Doutor Filipe Alexandre Ferreira Tiago de Oliveira
- FCT/UNL (Orientador)

18 de Janeiro de 2018

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energia Renovável

Copyright © Ivanilda Tavares Cardoso, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Coragem, a pedra-base das Virtudes, sobre a qual assentam todas as outras

Robert Louis Stevenson

Obrigada Pai e meus pais.

Agradecimentos

Agradeço o orientador Professor Doutor Filipe Tiago de Oliveira pelo apoio e dedicação e o coorientador Professor Doutor Stanimir Valtchev pela ajuda durante a realização da dissertação.

Agradeço o Coordenador Professor Doutor Mário Ventim Neves e a escola FCT-UNL pela oportunidade que me deram de cursado o curso ao aceitar a minha candidatura.

O Salomão Costa e aluno Pedro Guerreiro pela ajuda de informação de dados disponibilizados, e a todos que de uma forma direta ou indireta contribuirão para o sucesso do trabalho.

Resumo

O desenvolvimento da dissertação consiste em estudar se através do fluxo do ar criado pela passagem dos carros nas estradas é possível produzir energia elétrica. Antes foi feita pesquisa das tecnologias existentes para o aproveitamento da energia eólica. Existem duas tecnologias que são: turbina eólica de eixo vertical e turbina eólica de eixo horizontal, a principal diferença entre elas é o mecanismo de acompanhamento para variações da direção do vento. Como a turbina eólica de eixo vertical não possui esse mecanismo, é o dispositivo que mais adapta no projeto, porque a direção do vento é multidirecional, não leva a paragem do equipamento ou destruição.

Foram encontradas várias ideias semelhantes a preconizar no projeto, inclusive dois vídeos que mostra o êxito do projeto, é possível produzir energia através do fluxo de ar provocado pela passagem dos carros nas estradas.

Durante a realização do trabalho desenvolveu-se um equipamento para a medição da velocidade do vento, com os resultados obtidos foi estimado a energia.

A medição da velocidade do vento deu-se em 6 regiões de Lisboa, com o objetivo de obter diferentes níveis de tráficos.

Palavras-chave: Velocidade do vento

Abstract

The development of the dissertation consists in studying if through the flow of the air created by the passage of the cars in the roads it is possible to produce energy. Previous research was done on existing technologies for the use of wind energy. There are two technologies that are: vertical axis wind turbine and horizontal axis wind turbine, the main difference between them is the tracking mechanism for wind direction variations. Since the vertical axis wind turbine does not have this mechanism, it is the device that adapts most in the design, because the direction of the wind is multidirectional, does not lead to equipment stoppage or destruction.

Several similar ideas were found to be included in the project, including two videos that show the success of the project, which is possible to produce energy through the airflow caused by the passage of cars on the roads.

During the work was developed equipment for the measurement of wind speed, with the results obtained was estimated the energy.

The wind speed was measured in 6 regions of Lisbon, with the objective of obtaining different levels of traffic.

Keywords: Wind speed

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice Geral	vi
Índice de Tabelas	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Gráficos	x
Abreviaturas e simbologias	xi
1 Introdução	13
1.1 Enquadramento da tese.....	13
1.2 Objetivo.....	15
1.3 Dispositivo escolhido para a produção de energia	16
1.3.1 Características da turbina eólica de rotor de eixo vertical (VAWT)	16
1.4 Estado da arte	21
2 Dados do projeto	24
2.1 Construção do equipamento para a medição da velocidade do vento	24
2.2 Características dos locais da medição da velocidade do vento.....	29
2.3 Dados da medição da velocidade do vento retirados.....	34
2.3.1 Zona 1 Embaixada.....	34
2.3.2 Zona 2 ESCS - IPL, Campus de Benfica do IPL	34
2.3.3 Zona 3 Rua da Junqueira, 342, Lisboa.....	35
2.3.4 Zona 4 Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa.....	36
2.3.5 Zona 5 Estação de Campolide.....	37
2.3.6 Zona 6 Estação de Santos.....	38
2.4 Cálculo da energia cinética do vento.....	39
2.5 Estimativas da potencia produzida por aerogerador	43
3 Conclusões e trabalhos futuros	47
4 Anexo	48
4.1 Anexo 1	48
4.2 Anexo 2	49
5 Bibliografia	55

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 Classificação do tráfico.....	29
Tabela 2. 2 Características dos locais da medição da velocidade do vento.....	30
Tabela 2. 3 Fotografias das regiões da medição da velocidade do vento.....	32
Tabela 2. 4 Características das Turbina Darrieus adaptado de [24].	45

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Turbinas de tufão adaptado de [9].....	15
Figura 1. 2 Mecanismo do funcionamento do projeto adaptado de [10].....	16
Figura 1. 3 Componentes básicos de uma turbina eólica adaptado de [11].....	17
Figura 1. 4 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].....	18
Figura 1. 5 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].....	19
Figura 1. 6 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].....	20
Figura 1. 7 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].....	20
Figura 1. 8 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].....	21
Figura 1. 9 "Voltair" - a turbina vertical de Luís Castanheira Santos adaptado de [16].	22
Figura 1. 10 Wind - turbine powered highway lights, conceito de TAK Studio adaptado de [17].....	22
Figura 1. 11 Ideia do estudante Joe do Arizon adaptado de [18].	23
Figura 1. 12 Separador tipo “New Jersey” adaptado para a produção de energia adaptado de [7].	23
Figura 2. 1 Anemómetro Inspeed Vortex adaptado de [19].	25
Figura 2. 2 Placa Arduíno UNO adaptado de [20].	26
Figura 2. 3 Módulo para Cartão de Memória adaptado de [20].	26
Figura 2. 4 Circuito de <i>debounce</i> adaptado de [21].....	27
Figura 2. 5 Esquema de ligações com pilha.	28
Figura 2. 6 Turbina de eixo vertical adaptado de [23].....	43
Figura 2. 7 A área do fluxo de vento de uma turbina vertical adaptado de [23].	44
Figura 4. 1 Imagem de osciloscópio onde se pode ver as vibrações do interruptor eletromecânico. Adaptado de [22].....	48
Figura 4. 2 Imagem do osciloscópio após a utilização de circuito de <i>debounce</i> com condensador de 1µF adaptado de [22].....	48
Figura 4. 3 Ficheiro de texto com os dados recolhidos gravados.....	49

Índice de Gráficos

Gráfico 2. 1 Dados da velocidade de vento da 1º zona.	34
Gráfico 2. 2 Dados da velocidade de vento da 2º zona.	35
Gráfico 2. 3 Dados da velocidade de vento da 3º zona.	36
Gráfico 2. 4 Dados da velocidade de vento da 4º zona.	37
Gráfico 2. 5 Dados da velocidade de vento da 5º zona.	38
Gráfico 2. 6 Dados da velocidade de vento da 6º zona.	39
Gráfico 2. 7 Potência produzida na zona 3 da medição da velocidade do vento.....	40
Gráfico 2. 8 Potência produzida na zona 2 da medição da velocidade do vento.....	41
Gráfico 2. 9 Potência produzida na zona 3 da medição da velocidade do vento.....	41
Gráfico 2. 10 Potência produzida na zona 4 da medição da velocidade do vento.....	42
Gráfico 2. 11 Potência produzida na zona 5 da medição da velocidade do vento.....	42
Gráfico 2. 12 Potência produzida na zona 6 da medição da velocidade do vento.....	43
Gráfico 2. 13 Estimavas da potência produzida por aerogerador.....	45

Abreviaturas e simbologias

CO₂ - Dióxido de carbono

GEE - Gases de Efeito de Estufa

PQ- Protocolo de Quioto

VAWWT - Turbina eólica de rotor de eixo vertical

Simbologia

A = Área

D = distância percorrida pelo corpo

E_C = Energia cinética

m = Massa

P = Potência

T = Tempo

s - Segundo

v = velocidade

$v_{méd}$ – velocidade média

P_{mec} - potência mecânica

η = eficiência

1 Introdução

Neste capítulo vai ser feita uma breve introdução do trabalho realizado, apresentando o seu enquadramento, objetivos propostos e o estado da arte.

1.1 Enquadramento da tese

A energia (sol, vento, água e recursos fósseis) é uma fonte vital da vida na terra, onde o sol é o princípio de toda a existência. O homem utilizou as diversas fontes de energias naturais e transformou-a em diferentes formas de energia (térmica em calor, nuclear em radioatividade, mecânica em movimento, elétrica em corrente de elétrons, radiante em luz e química do ser vivo), com o objetivo de tornar a vida do homem mais fácil, ou seja, que poupasse tempo na realização das tarefas e contribuir para o desenvolvimento do homem.

As primeiras máquinas desenvolvidas entre os anos de 1760-840 (Revolução Industrial) funcionavam a fontes de energias não renováveis ou fósseis [1], durante a produção de energia o equipamento libertava os chamados gases de efeitos de estufas (GEE), e segundo John Tyndall os gases de efeitos de estufas são fortes absorventes de energia radiante do sol, e mesmo em quantidades relativamente pequenas eles são responsáveis pelo calor retido na atmosfera, levando não só ao aumento das temperaturas médias, como também a mudanças climáticas que poderão ter graves consequências para a vida do ser humano na Terra [2].

No ano de 1880 a concentração dos GEE aumentou progressivamente, porque nessa altura 97% da energia consumida provinha da combustão do carvão, é o combustível fósil que mais acarreta impactes ambientais, em termo de poluição e alteração climática [3].

O primeiro tratado jurídico internacional criado para regular os GEE foi o Protocolo de Quioto (KP), e depois foi criado o Acordo de Paris em que os países membros devem cumprir uma meta de redução das emissões [4], [5].

As tecnologias desenvolvidas que utilizam fontes de energia renováveis (são recursos naturais que são sempre restabelecidos) como por exemplo o sol, o vento, etc., para a produção de energia elétrica, térmica, etc., onde estes emitem 0% ou quase nula a emissão de gases de efeitos de estufas na atmosfera terrestre, mas tudo isso teve um maior interesse no desenvolvimento das tecnologias para as energias renováveis nos anos 70 com a crise de petróleo[6].

Hoje em dia a energia renovável tem uma busca intensiva, dentro desse interesse foi desenvolvido a tese onde utiliza um tipo de energia renovável a energia eólica para a produção da energia elétrica. O aproveitamento energético da energia eólica é feito através do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas (auto-) estradas.

Para culminar se é possível ou não a produção de energia através do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas (auto-) estradas, foi feito em primeiro lugar a medição da velocidade do vento com um anemómetro e depois analisar os resultados obtidos.

Segundo o livro verde dos transportes [7], em toda a Europa há um aumento do tráfego nos centros das zonas urbanas e a poluição atmosférica e sonora intensifica-se todos os anos, e na circulação urbana está na origem de 40% das emissões de CO₂ e 70% das emissões de outros poluentes resultantes dos transportes rodoviários. Em 2016, havia cerca de 602,2 veículos rodoviários motorizados por cada mil habitantes [8]. Quando estes veículos se movem deslocam o ar à sua volta, pensou-se aproveitar a energia desse fluxo de ar, implementando uma tecnologia renovável para a produção de energia.

A ideia do tema da tese surgiu através do projeto japonês “promete gerar 50 anos de energia só com ventos de tufões”, isto é, através de um dos exemplos de um protótipo de “central nuclear eólica de tufões” apresentado pelo inventor Atsushi Shimizu.



Figura 1. 1 Turbinas de tufão adaptado de [9].

A turbina tem um formato de batedor de ovo, apresenta um fenómeno efeito Magnus, converte toda energia produzida por um tufão em energia útil para além de ter a capacidade de suportar todas as forças do tufão. Apresenta 30% da eficiência, 10% a menos que uma turbina tradicional, o que deferi das turbinas convencionais são: o funciona em um eixo omnidirecional que permite que a máquina sobreviva a padrões de vento imprevisíveis, e a velocidade das lâminas pode ser ajustada para garantir que elas não saiam de controle durante uma tempestade [9].

1.2 Objetivo

Pretende-se estudar as características (intensidade, periodicidade, etc...) do fluxo de ar provocado pela passagem de veículos nas estradas para determinar se é viável aproveitar essa energia eólica para produção de energia elétrica utilizando a tecnologia que já existe.

Com um anemómetro mediu-se a velocidade do vento nas diferentes vias com diferentes níveis de tráfego de automóvel, e através dos dados obtidos permitirão seleccionar os tipos de turbinas a utilizar.

1.3 Dispositivo escolhido para a produção de energia

As tecnologias existentes para a recolha da energia eólica são dois tipos de turbinas eólicas, uma turbina eólica de eixo vertical e turbina eólica de eixo horizontal, a principal diferença entre elas é o mecanismo de acompanhamento para variações da direção do vento.

Como a direção produzida pelo fluxo do ar provocado pelo deslocamento dos carros são multidirecionais, a turbina eólica que mais adapta ao projeto é a turbina eólica de eixo vertical, porque não possui um mecanismo de acompanhamento para variações da direção do vento, assim não leva a paragem do equipamento ou a sua destruição.

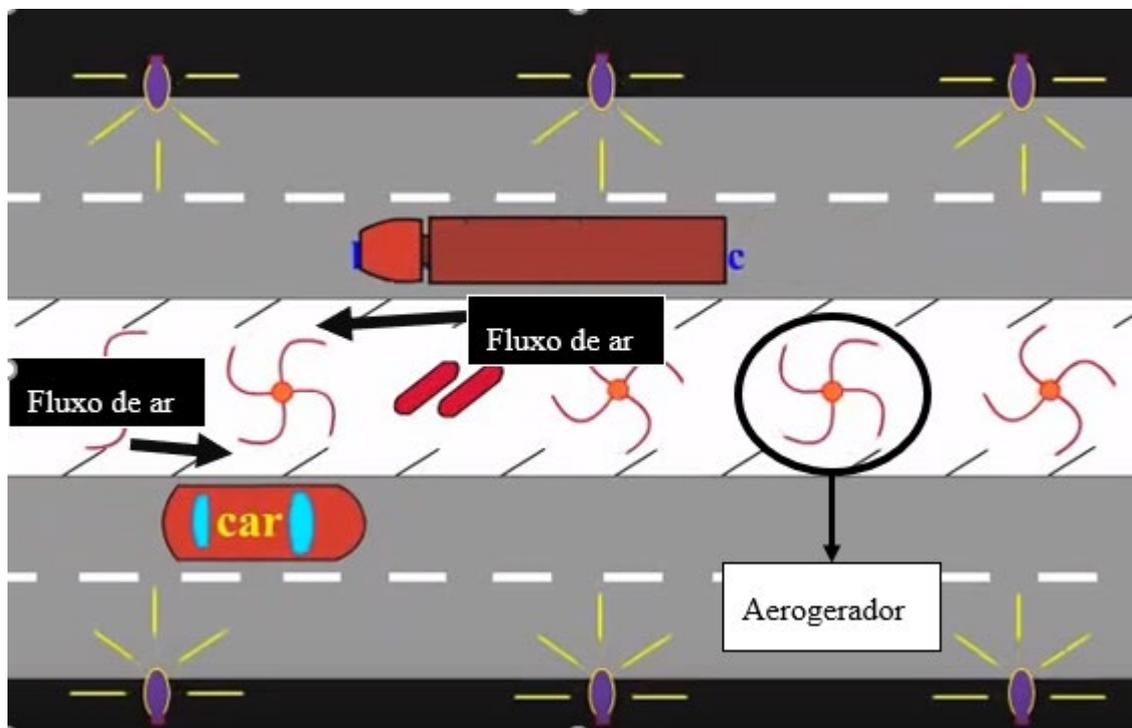


Figura 1. 2 Mecanismo do funcionamento do projeto adaptado de [10].

1.3.1 Características da turbina eólica de rotor de eixo vertical (VAWT)

A turbina eólica é constituída por diversos componentes, dependendo da marca do comercializador, sendo os componentes apresentados na Figura 1. 1 existem em maioria dos aerogeradores.



Figura 1. 3 Componentes básicos de uma turbina eólica adaptado de [11].

A pá está ligada ao rotor, fazendo - o girar, a nacela é uma cabine onde tem os componentes para a produção da energia mecânica, o suporte ou torre sustenta a nacela e as pás do rotor e é o que possui acesso a nacela, e a fundação é o que permite que o aerogerador fica em pé [11].

O sistema de freio serve para parar a turbina quando a velocidade de vento é superior a velocidade de vento projetada para o funcionamento da mesma, assim não levando a sua destruição [11].

As turbinas eólicas de eixo vertical têm essa designação porque o eixo do rotor principal está fixado verticalmente, mas possui os mesmos componentes que uma turbina eólica de eixo horizontal. Tem uma configuração interna complexa, utiliza a energia mecânica para a produção de energia elétrica através de um gerador. Foi desenvolvido para captar vento sem necessidade de um mecanismo de orientação, e também para ventos turbulentos e produz baixas emissões de ruídos. Como o gerador e a caixa de velocidade (caso exista) estão muito próximo do solo em alguns casos não é necessária uma torre [12].

Para aumentar a área de ocupação é necessário a utilização de espiras de suporte, com isso produz esforços dinâmicos acrescidos, que reduz a velocidade. Este tipo de eixo

requer um arranque forçado, e em caso de necessidade de manutenção é necessário proceder à desmontagem de toda a turbina. Estes são os fatores que hoje poucas empresas fabricam as turbinas de eixo vertical [12].



Figura 1. 4 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].

Existe quatros tipos de turbinas eólicas com rotor de eixo vertical:

1. Turbina Savonius

A turbina Savonius foi criado no ano de 1929 pelo arquiteto finlandês Sigurd Johannes Savonius. A força predominante na turbina é a força de arrasto, ou seja, as turbinas giram predominantemente pela pressão do ar sobre as pás [13].

Existem diferentes configurações da turbina Savonius: o formato tipo S, a de 3 pás, a de pás helicoidais, e o rotor de 2 estágios.

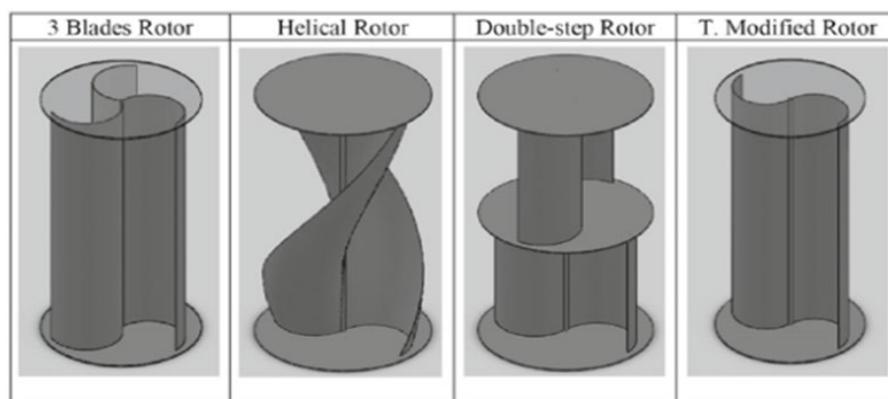


Figura 1. 5 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].

2. Turbina Darrieus

A turbina Darrieus é o único aerogerador de eixo vertical desenvolvido para fins comerciais, possui uma elevada potência e uma eficiência muito próxima a turbinas eólicas de eixo horizontal de três pás. Foi criado no ano de 1931 pelo engenheiro francês George Darrieus, e é movida pela força de sustentação. Há dois tipos de turbinas Darrieus [14].

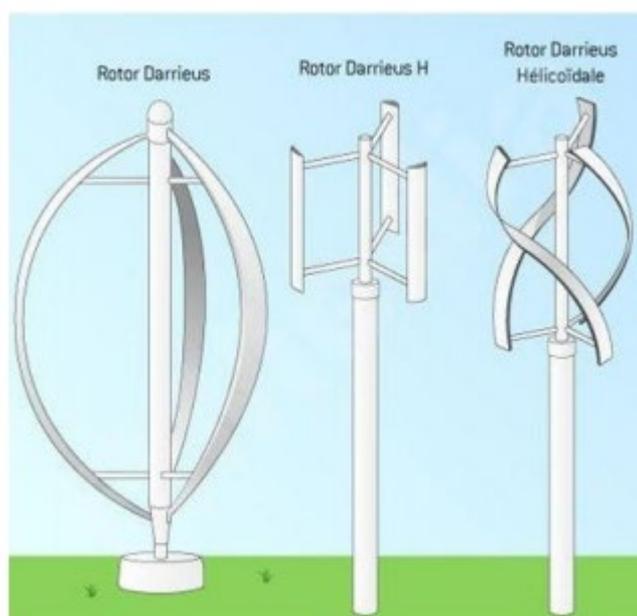


Figura 1. 6 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].

3. Turbina Darrieus-Savonius

A turbina Darrieus-Savonius é uma turbina onde o rotor Savonius é instalado dentro do rotor Darrieus ou vice versa, podendo ser em baixo ou em cima.

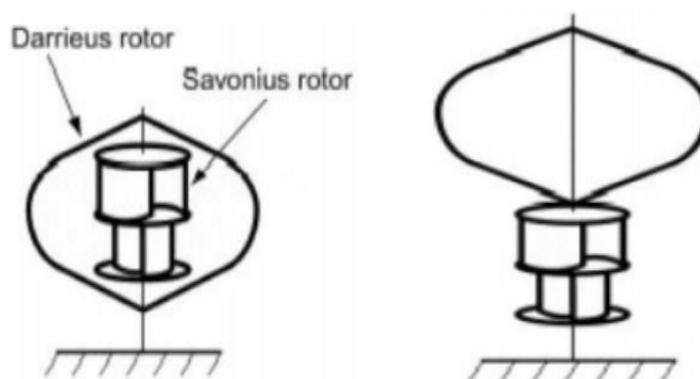


Figura 1. 7 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].

A intenção do desenvolvimento desta turbina de sistema híbrido é o aproveitamento das vantagens de cada um dos tipos de turbina, esta combinação pode alcançar uma eficiência de 51%. Tem um melhor uso nas regiões com baixas velocidades de vento, como áreas continentais, para aplicações urbanas ou locais remotos onde é impossível obter o acesso a rede elétrica pública [14].

4. Turbina Panemone

Turbina Panemone ou moinho de vento Panemone apresenta uma das menores eficiências em relação as outras turbinas eólicas, e o *design* foi utilizado desde a Pérsia antiga. Este modelo só utiliza metade da área disponível das pás para a produção de energia, porque apresenta um eixo rotativo vertical, enquanto as pás se movem paralelamente ao vento, é necessário que parte das pás se mova com o vento e a outra parte se mova contra o vento. Para impedir o movimento indesejado das pás deve-se proteger metade da turbina, ou então as pás podem ser montadas para que possam mudar de direção em relação ao vento.

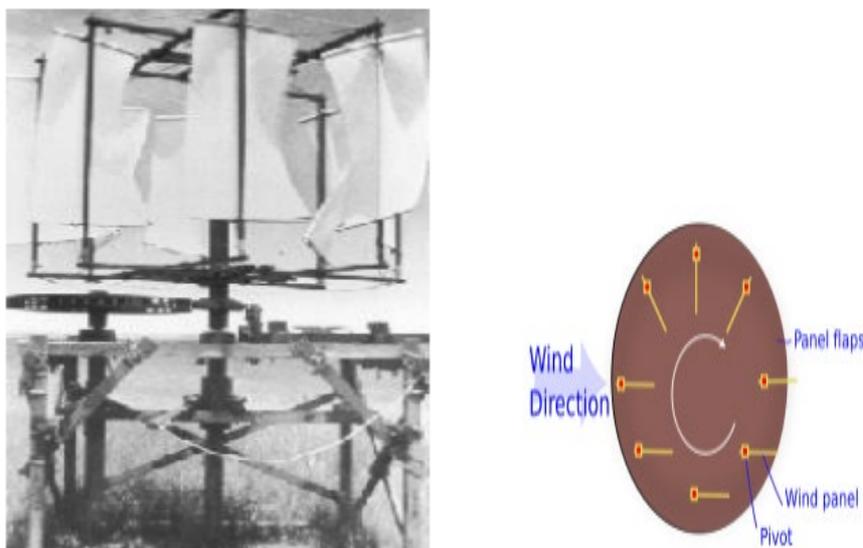


Figura 1. 8 Exemplo de aerogerador de eixo vertical adaptado de [12].

1.4 Estado da arte

No decorrer da pesquisa bibliográfica foram encontradas 5 ideias semelhantes à preconizada neste projeto, e há dois vídeos onde mostram a eficiência do projeto a ser desenvolvido [10], [15].

A primeira ideia encontrada foi criada no ano de 2011 pelo *designer* português Luís Castanheira Santos que criou o conceito "*Voltair*" - a turbina vertical permite produzir energia eléctrica aproveitando a energia do vento gerado pela deslocação do ar devido ao movimento dos veículos [16].

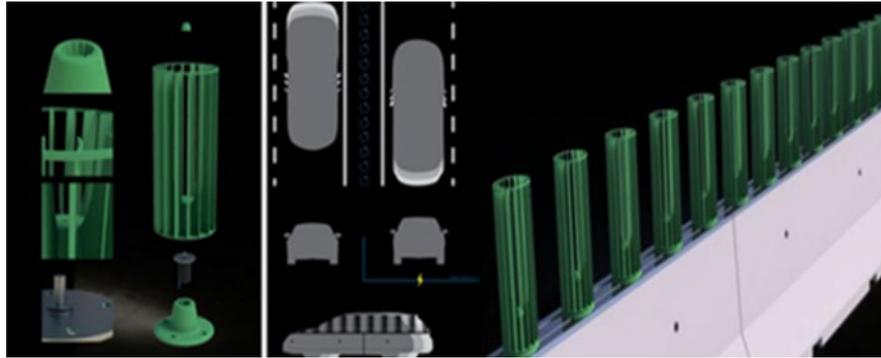


Figura 1. 9 "Voltair" - a turbina vertical de Luís Castanheira Santos adaptado de [16].

A outra ideia é do TAK Studio, que é uma das 18 finalistas em uma competição de *design* que faz parte da conferência Greener Gadgets na cidade de Nova York.



Figura 1. 10 Wind - turbine powered highway lights, conceito de TAK Studio adaptado de [17].

As três últimas ideias são: do estudante Joe do Arizon, do *designer* Mark Oberholzer e que produzem energia elétrica através do vento de Jérôme Michaud-Larivière.



Figura 1. 11 Ideia do estudante Joe do Arizon adaptado de [18].

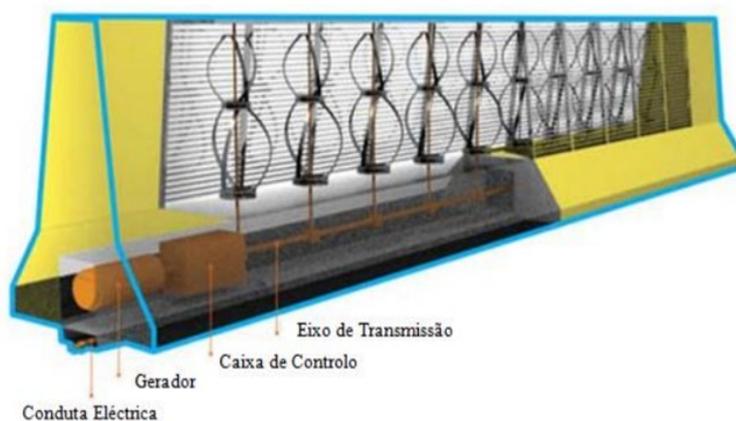


Figura 1. 12 Separador tipo “New Jersey” adaptado para a produção de energia adaptado de [7].

Todas as ideias apresentadas algumas foram feitas a parte experimental, mas nenhum foi desenvolvida um projeto.

2 Dados do projeto

Neste capítulo, vai ser abordado o trabalho prático realizado. Em primeiro lugar, foi necessário desenhar e construir o equipamento para registrar a velocidade do vento usando um anemómetro. Depois, estimou-se o valor da energia eólica produzida pelo deslocamento do fluxo do ar devido à passagem dos carros. No final, usando como modelo duas tecnologias conhecidas, tenta-se prever qual seria a energia elétrica produzida pela deslocação do vento nas diferentes condições que foram estudadas.

2.1 Construção do equipamento para a medição da velocidade do vento

Antes de fazer a medição da velocidade do vento foi construído um pequeno circuito elétrico para o registo e armazenamento dos dados do anemómetro, quando foi entregue o anemómetro não tinha um circuito integrado.

A construção do equipamento para a medição a velocidade do vento foi realizada em colaboração com o colega Pedro Guerreiro durante o Programa de Introdução à Investigação Científica (PIIC) de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

As matérias escolhidas foram: um Arduíno Uno, um módulo para cartão de memória / leitor Micro SD Card Arduíno e um anemómetro Inspeed Vortex Wind Sensor.

Descrição dos componentes utilizado:

1. Até agora o único dispositivo desenvolvido para a medição da velocidade do vento é o anemómetro. A marca utilizada é da Inspeed Vortex Wind Sensor e apresenta uma capacidade de medição da velocidade do vento desde aproximadamente 5 Km/h até mais de 200 Km/h. O sensor utiliza um relé do tipo Reed Switch, que emite 1 pulso por rotação. Através do número de pulsos por segundo é possível calcular a frequência e assim calcular a velocidade (aproximadamente 4 Km/h / Hz) [19].



Figura 2. 1 Anemômetro Inspeed Vortex adaptado de [19].

2. Existem vários tipos de placas do Arduino, mas para este projeto foi escolhido o Arduino Uno.

O Arduino possui um fácil acesso, barato, funcional, fácil programar e apresenta um conceito de “hardware livre”, isto é, qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar, partindo do mesmo hardware básico. Utiliza uma placa de prototipagem eletrônica composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada há um computador e programada via IDE (Integrated Development Environment), ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extra além de um cabo USB [20].

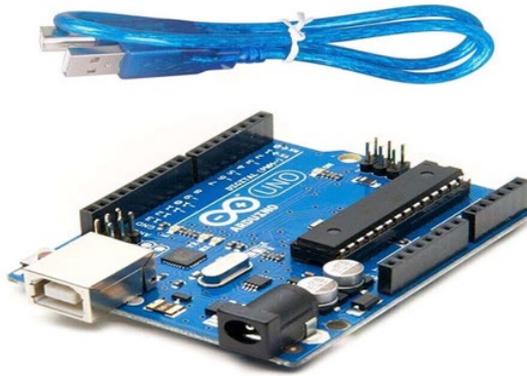


Figura 2. 2 Placa Arduino UNO adaptado de[20].

3. A utilização do cartão de memória/leitor Micro SD Card Arduino foi devido as suas características, apresenta um sistema de otimização mais eficiente, e tem um consumo menor relativamente ao Ethernet shield. O Módulo para Cartão de Memória Arduino trata-se de um módulo que possui um leitor de cartão Micro SD integrado que comunica através do sistema de arquivos e do *driver* de interface SPI, além do sistema de SCM de modo a completar o arquivo para ler e escrever no cartão Micro SD. Isto permite ao utilizador gravar dados relevantes oferecidos pelos sensores. Este leitor permite a utilização de cartões de memória Micro SD e Micro SDHC (cartão de alta velocidade) [20].

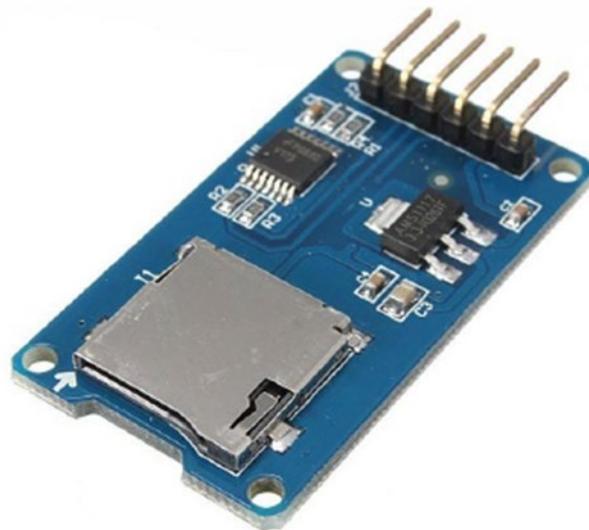


Figura 2. 3 Módulo para Cartão de Memória adaptado de [20].

O anemómetro utiliza um relé para medir o número de rotações. Este interruptor eletromecânico apresenta vibrações quando fecha, o que pode produzir leituras erradas da velocidade. Por isso, foi utilizado um circuito *Debounce*. Quando o interruptor é fechado o condensador carrega e quando ocorrem as vibrações o condensador descarrega impedindo que a tensão chegue a zero volts. Este processo impede que haja erros na leitura da velocidade. No Anexo 1 estão apresentadas a imagem da perturbação do interruptor eletromecânico e a imagem do osciloscópio após utilização de circuito de *debounce* com condensador de $1\mu\text{F}$.

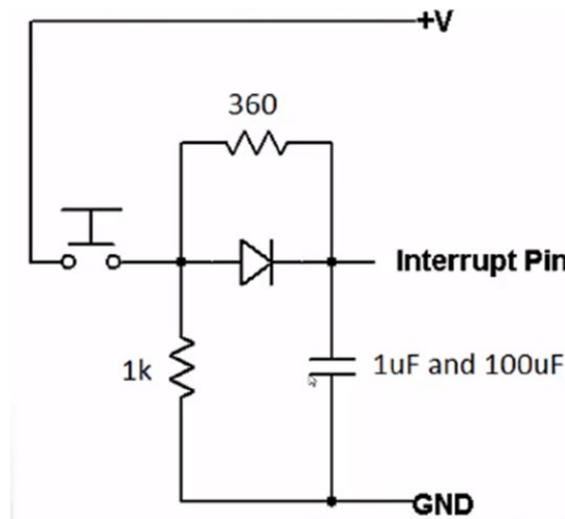


Figura 2. 4 Circuito de *debounce* adaptado de[21].

A placa Arduíno foi programada usando código original e excertos de código já existente [22]. Em linhas gerais, apresenta-se de seguida o código desenvolvido.

Em conjunto com a explicação do registo dos dados lidos pelo sistema feito pelo cartão de memória Micro SD os pormenores podem ser consultados no Anexo 2.

A gravação de dados é feita a cada 2 segundos pelo cartão de memória, os valores medidos pelo anemómetro foram a frequência (em Hz), a velocidade instantânea (em Km/h) e a média da velocidade recolhida durante 1,8 segundo (em Km/h).

A alimentação do sistema pode ser feita de três formas distintas:

- Quando ligado a um computador, através de um cabo USB;
- Através do conector 2.1mm Power Jack (Tensão 7-12V);
- Através do pin VIn e pin GND.

No decorrer do projeto, testou-se a alimentação de todo o sistema com recurso a uma fonte de alimentação regulável. Destes testes chegou-se á conclusão que para o uso

pretendido para a fonte de alimentação, o mais adequado seria a utilização de duas baterias de íões de lítio 2P2S com tensão superior a 7 V e 4000 mAh em paralelo de modo a que o anemómetro e o sistema de recolha de dados pudessem funcionar autonomamente por mais de 24 horas.

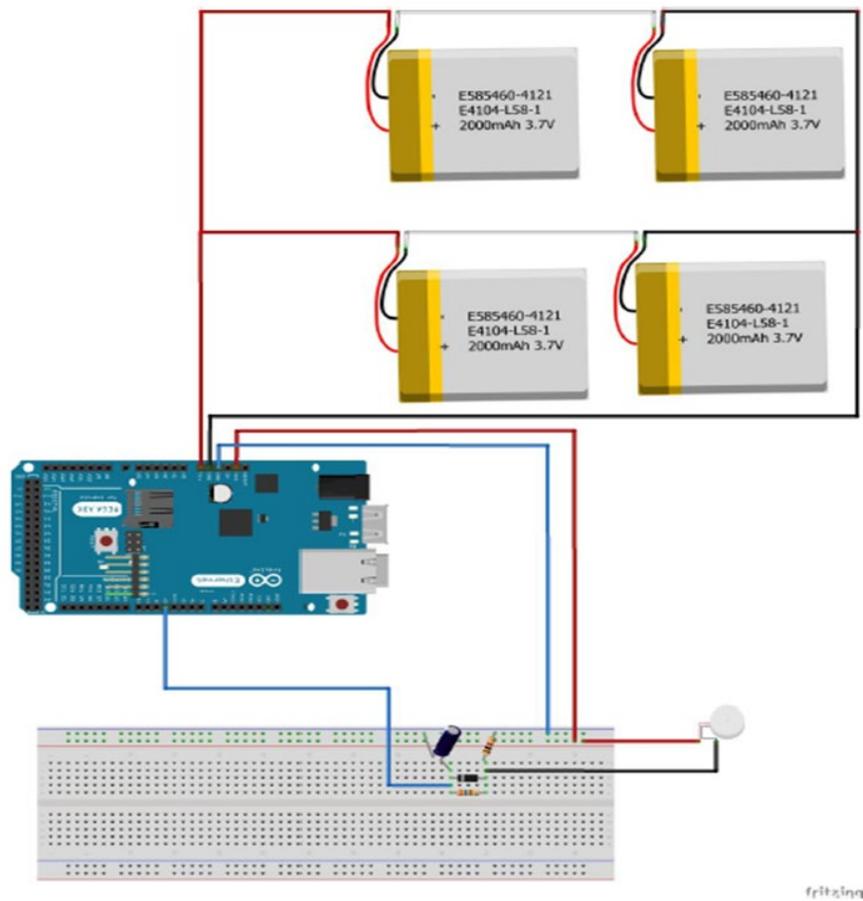


Figura 2. 5 Esquema de ligações com pilha.

2.2 Características dos locais da medição da velocidade do vento

A medição da velocidade de vento foi feita em 6 regiões de Lisboa-Portugal. A aquisição dos dados, em cada local, teve a duração de 1 hora. Estes 6 locais foram escolhidos com o objetivo de obter diferentes classificações do tráfego, ver Tabela 2. 1.

O tempo representa o intervalo de passagem de carros.

Tabela 2. 1 Classificação do tráfego.

Classificação do tráfego	T (s)
Baixo	30
Medio	11-15
Alta	5-10
Muito alta	2-4

Para se obter um perfil mais adequado da velocidade do vento em cada local, pretendia-se realizar experiências com a duração de três horas. No entanto, como para realizar as medidas foi necessário estarmos no passeio junto à estrada, com o anemómetro e o computador, muitos carros diminuíram a velocidade, porque os condutores pensaram que se tratava de um radar da polícia.

Tabela 2. 2 Características dos locais da medição da velocidade do vento.

Local	Quando	Tempo (hora) de aquisição	Tráfego de carro	Observação
Zona 1 _ Embaixada de Japão, Av. Da Liberdade 245, 1250 - 096 Lisboa	06 de Agosto de 2018	Início: 12:27 Fim: 13:30	Medio	Foi feito a medição numa paragem de autocarro onde poucas vezes o autocarro parava para apanhar os passageiros.
Zona 2 _ ESCS - IPL, Campus de Benfica do IPL, Av. Eusébio Silva Ferros 1549-014 Lisboa	10 de Agosto de 2018	Início: 12:28 Fim: 13:34	Muito alta	O sítio foi debaixo de uma árvore ao lado da escola ESCS e na 2º estrada circular.
Zona 3 _ Rua da Junqueira, 342, Lisboa, Restelo - Belém	10 de Agosto de 2018	Início: 16:36 Fim: 18:00	Alta	Como o local fica perto do mar, as correntes de ar que vinham em direção a terra ajudava na colheita da velocidade de vento, o sítio foi ao lado de Cordoaria Nacional de exposição de “Animal Inside Out”.

Zona 4 _ Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa, Av. Ceuta, 1 Edifício Urbiceuta, 1300 - 125 Lisboa	11 de Agosto de 2018	Início: 15:17 Fim: 15:18	Alta	O local foi a frente da escola ESSCVP.
Zona 5 _ Estação de Campolide, Calçada Estação, 1070 - 025 Lisboa	13 de Agosto de 2018	Início: 14:27 Fim: 15:30	Media	O local foi um pouco afastado da estação de Sado.
Zona 6 _ Estação de Santos, Av. 24 de Julho, 1200-109 Lisboa	14 de Agosto de 2018	Início: 17:59 Fim: 19:00	Muito alta	Foi feito a medição da velocidade do vento perto de uma casa desabitada.

Na Tabela 2. 3 estão apresentadas as fotografias dos locais da medição da velocidade do vento e como foi foito a instalação do equipamento

Tabela 2. 3 Fotografias das regiões da medição da velocidade do vento.

Local	Fotografia	Observação
Zona 1		<p>Numa barra da paragem de autocarro foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 1 m (metro) do chão e afastando-o num ângulo de 10° (graus).</p>
Zona 2		<p>Numa barra de sinal de trânsito foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 1 m (metro) do chão e afastando-o num ângulo de 10° (graus).</p>
Zona 3		<p>Numa barra para proteger os peões de carro desgovernado foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 30 cm (centímetro) do chão e afastando-o num ângulo de 10° (graus).</p>

Zona 4		<p>Numa barra para proteger os peões de carro desgovernado foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 30 cm (centímetro) do chão e afastando-o num angulo de 10° (graus).</p>
Zona 5		<p>Numa barra para proteger os peões de carro desgovernado foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 15 cm (centímetro) do chão.</p>
Zona 6		<p>Numa barra para proteger os peões de carro desgovernado foi amarrado com quatro elástico de cabelo o anemómetro a 30 cm (centímetro) do chão e afastando-o num angulo de 10° (graus).</p>

2.3 Dados da medição da velocidade do vento retirados

Durante a medição da velocidade do vento foram registados alguns erros (velocidade de vento superior a 30 km/h), e foram retirados esses erros durante a construção dos gráficos. Como os cabos de ligações não foram todos soldados na placa Arduino, como a do USB do computador e a do anemómetro devem ter originados esses erros no registo da velocidade do vento, ou seja, erros de conexão dos elementos do circuito.

2.3.1 Zona 1 Embaixada

O local é uma zona urbana com muita concentração de casas e prédios que impede a circulação do ar, mesmo estando a alguns metros do rio Tejo, as vivendas e residência institucional impede a livre circulação do fluxo do ar que vem do rio, e havia pouco tráfego de carros, a velocidade do vento varia entre 0,23 m/s a 5,14 m/s.

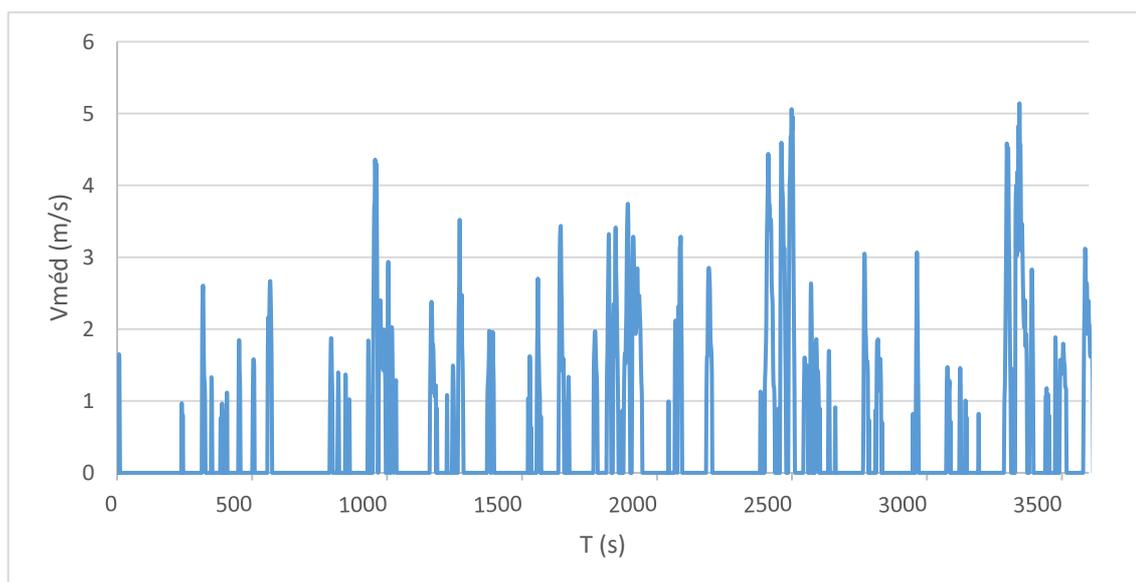


Gráfico 2. 1 Dados da velocidade de vento da 1ª zona.

2.3.2 Zona 2 ESCS - IPL, Campus de Benfica do IPL

Houve um maior tráfego de automóveis em relação a outras zonas, a estrada tem duas faixas de circulação de carro possibilitando um maior aproveitamento do vento,

como a estrada está localizada na 2ª circular as casas e residência institucional não ficam muito próximo da estrada o que origina em menos obstáculos que impede a circulação de vento. Velocidade de vento máxima 10,29 m/s (metros por segundo). Teve um maior fluxo de ar entre 0,01 a 4 m/s.

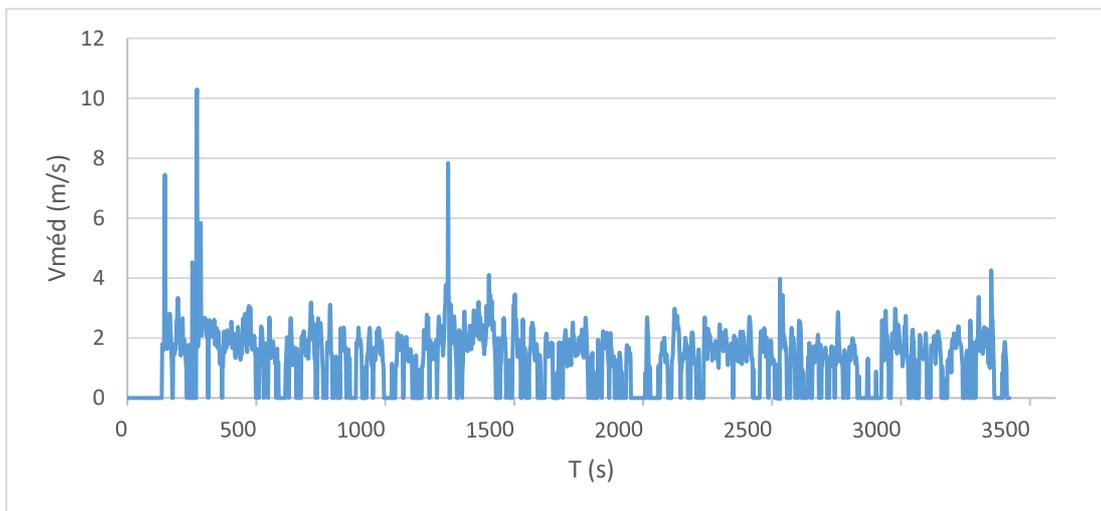


Gráfico 2. 2 Dados da velocidade de vento da 2ª zona.

2.3.3 Zona 3 Rua da Junqueira, 342, Lisboa

Tem uma maior dispersão da velocidade do vento em relação a outras medições, poucas vezes a velocidade de vento atinge 0 m/s, isto foi devido que o local estava localiza perto do rio Tejo, e não havia casas ou edifícios que impedisse a livre circularão do vento. Quando os carros provocam uma quebra no fluxo de ar para a produção de vento e também havia o fluxo de ar que vinha do rio tejo medido pelo anemómetro. O fluxo de velocidade de vento varia entre 0,03 m/s a 4 m/s, a velocidade do vento máximo medido foi de 5,55 m/s.

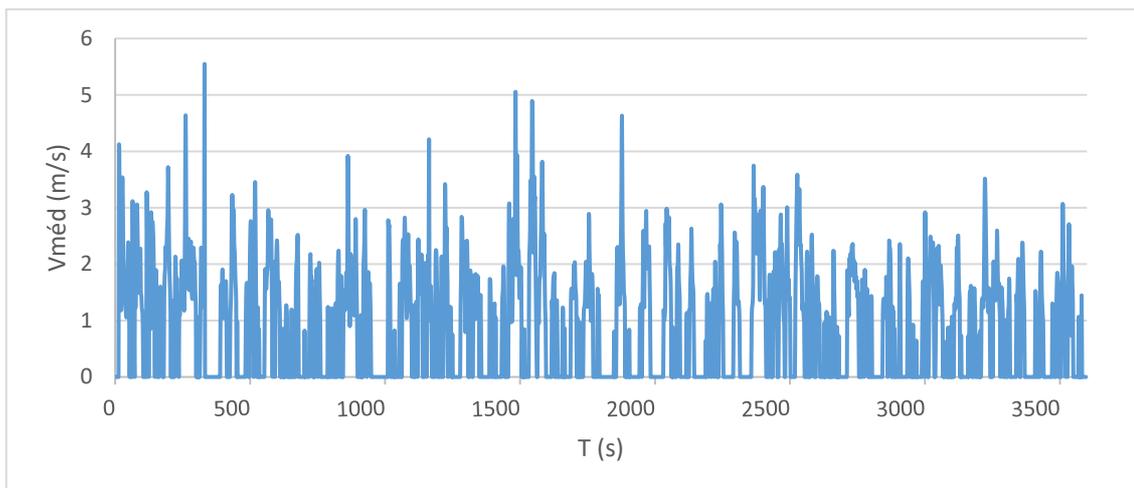


Gráfico 2. 3 Dados da velocidade de vento da 3º zona.

2.3.4 Zona 4 Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa

Tem muito tráfego de veículos igual a da 2ª medição, só que tem três semáforos a pouca distância do local da medição e um perto do local, e isto obriga os carros a pararem, e é um dos fatores que possibilitou a dispersão da velocidade de vento igual a da 3ª medição. A estrada situa numa estrada principal por isso não havia obstáculos que impedem a livre circulação do vento. Houve um maior fluxo de velocidade de vento que varia entre 0,87 m/s a 4 m/s, e a máxima velocidade do vento medido foi de 4,57 m/s.

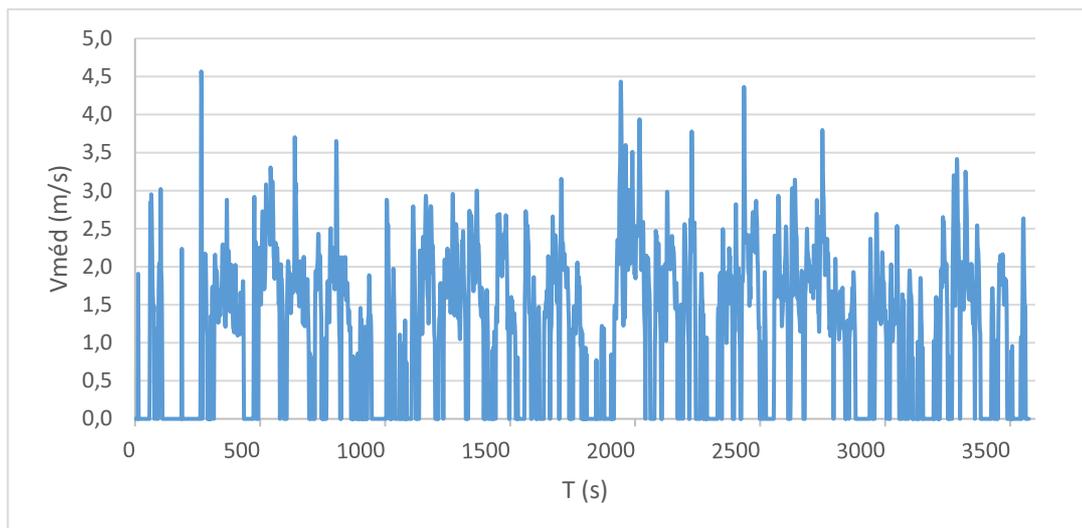


Gráfico 2. 4 Dados da velocidade de vento da 4ª zona.

2.3.5 Zona 5 Estação de Campolide

Tem dois fatores condicionantes para uma menor produção de energia e uma é igual a que acontece na 4ª Medição, e a outra é a instalação do anemómetro que estava um pouco longe da beira da estrada onde os carros circulam, as velocidades do vento obtidas é devido a passagem dos autocarros ou quando houver uma maior circulação de carro. A velocidade do vento máximo foi de 8,43 m/s.

Houve uma maior variação do fluxo de ar entre 0 a 5 m/s.

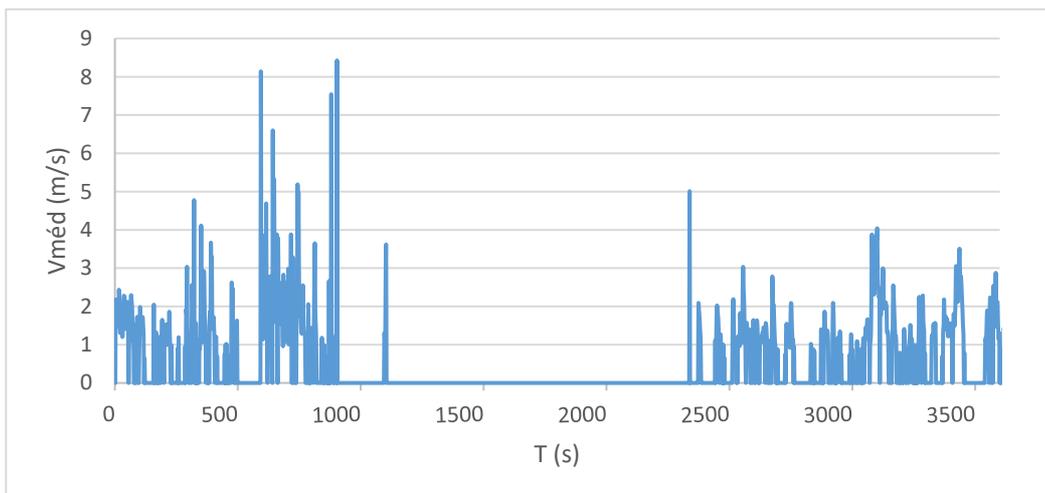


Gráfico 2. 5 Dados da velocidade de vento da 5ª zona.

2.3.6 Zona 6 Estação de Santos

A condição para a produção de vento é idêntica a 2ª medição a única coisa que diferência é o tráfego de automóveis, onde este teve um menor tráfego, pode ser devido ao horário que foi medido a velocidade do vento. Sendo os que foram medidos ao meio dia tiveram uma maior produção de vento do que as que foram medidos depois desse horário. A velocidade do vento máximo medido foi de 5,04 m/s, houve uma maior dispersão da velocidade do vento entre 0,1 a 3 m/s.

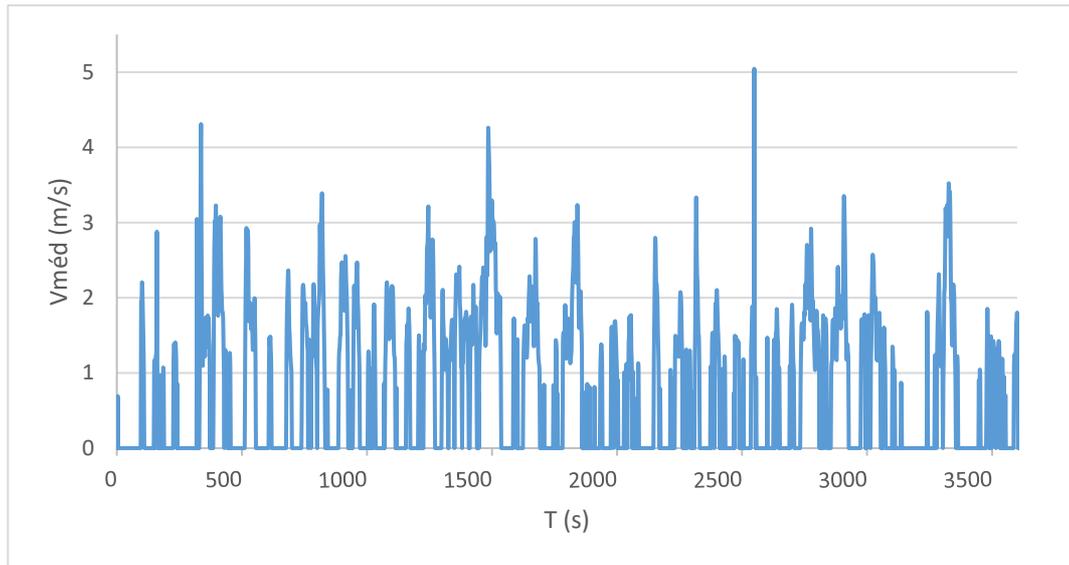


Gráfico 2. 6 Dados da velocidade de vento da 6º zona.

Em todos os picos das velocidades do vento foram devidos a passagem dos carros em simultâneo ou autocarros.

2.4 Cálculo da energia cinética do vento

A energia cinética produzida pelo vento é transformada em energia mecânica através do uso de um aerogerador eólico e depois com um acoplamento (gerador) é transformado em energia elétrica para o uso público.

A fórmula para calcular a energia cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (3.1)$$

Onde, E_c é a energia cinética do anemómetro, m a massa do anemómetro e v a velocidade medida pelo anemómetro;

A fórmula para calcular a potência:

$$P = \frac{Ec}{t} \quad (3.2)$$

Onde:

P = Potência;

t = Tempo.

Sendo a massa do anemómetro de ca. 33 g e as velocidades médias do vento medidos nas diferentes zonas foi estimada a energia. A potência calculou-se através dos resultados obtidos da energia por unidade de tempo de 1,8 s, o tempo 1,8 s é o período que o anemómetro leva para medir a velocidade de vento.

A zona 1 teve 39,14 J (Joule) de energia total produzida e potência total de 21,74 W. A potência calculada varia entre 0,01 W a 0,23 W.

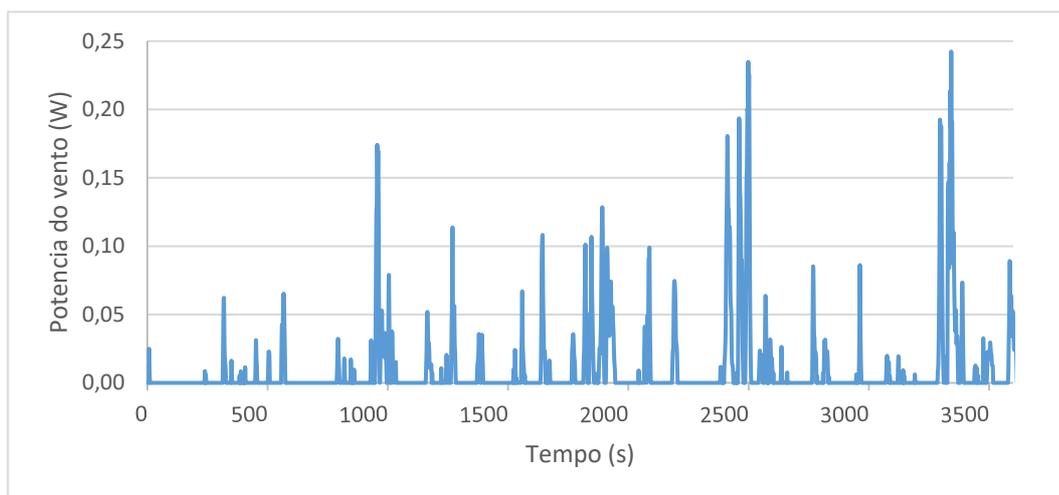


Gráfico 2. 7 Potência produzida na zona 3 da medição da velocidade do vento.

A zona 2 obteve uma maior potência total em relação as cinco medições, com um valor de 45,79 W. A potência calculada varia entre 0,01 W a 1 W, a energia total foi de 82,42 W.

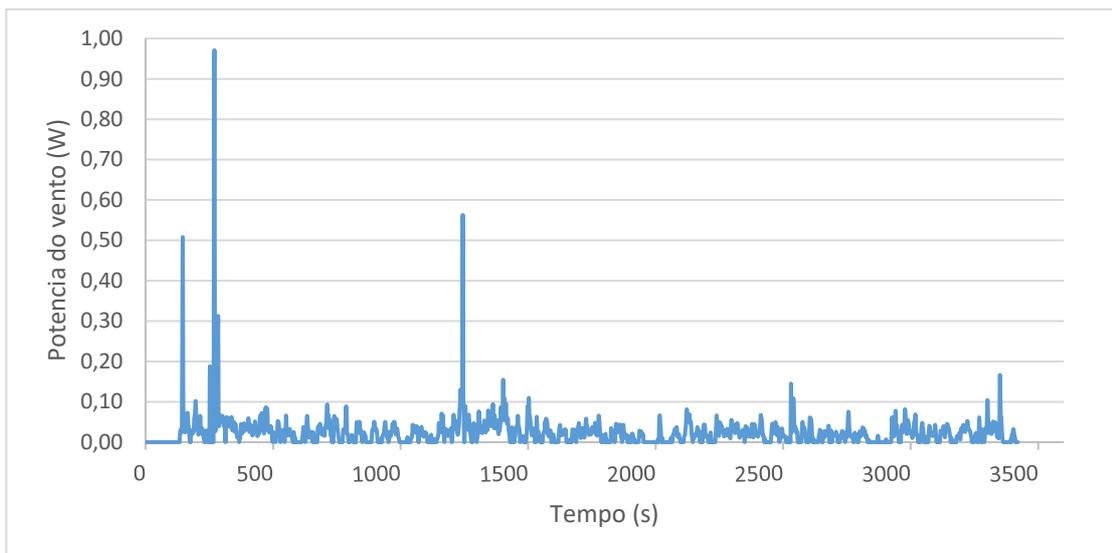


Gráfico 2. 8 Potência produzida na zona 2 da medição da velocidade do vento.

A zona 3 apresenta a terceira maior potência total com 33,02 W, e uma energia total de 59,43 J. A potência calculada varia entre 0,01 W a 0,28 W.

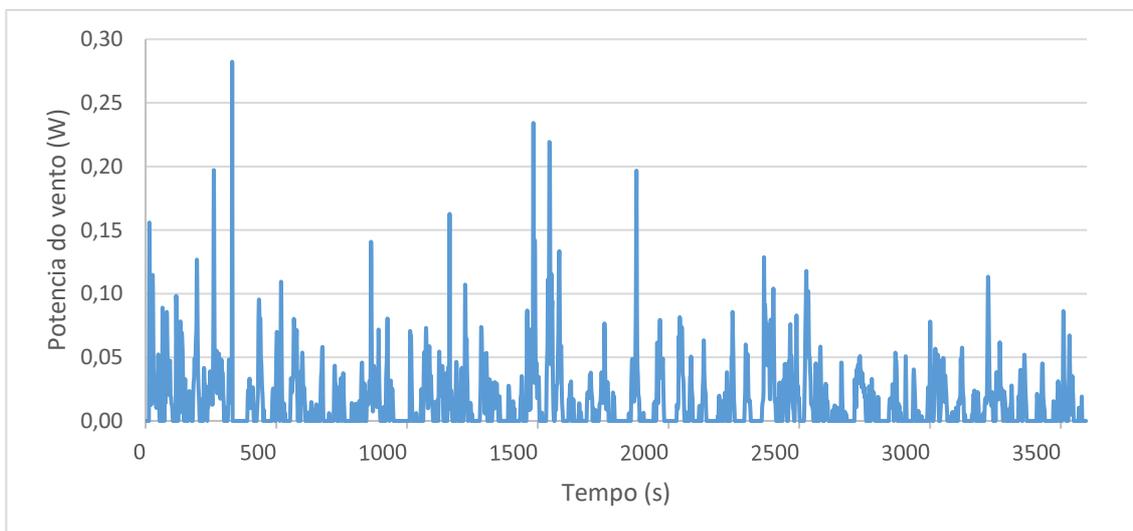


Gráfico 2. 9 Potência produzida na zona 3 da medição da velocidade do vento.

A zona 4 tem a segunda maior potência total com 42,23 W, e a energia total de 76,02 J. A potência calculada varia entre 0,01 W a 0,19 W.

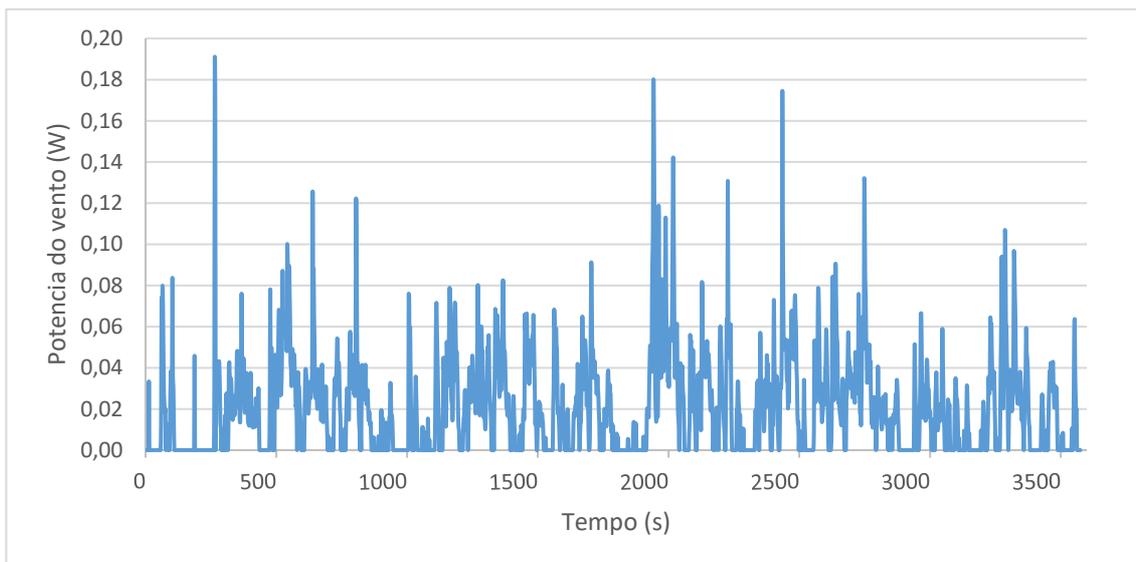


Gráfico 2. 10 Potência produzida na zona 4 da medição da velocidade do vento.

Na zona 5 a potência total foi de 21,24 W, com uma energia total de 38,23 J. A potência calculada varia entre 0,01 W a 0,65 W.

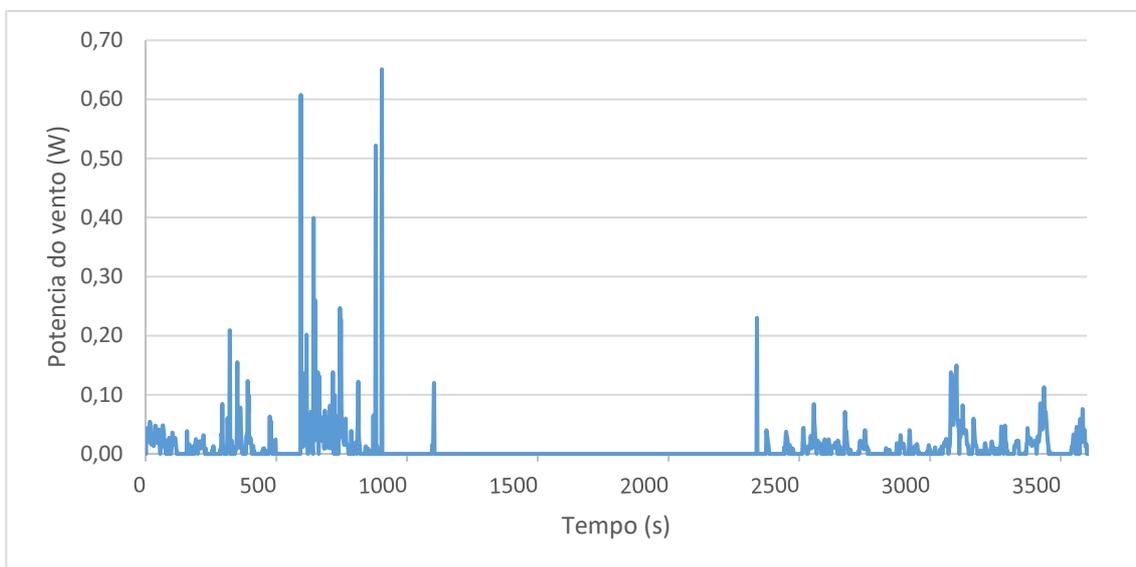


Gráfico 2. 11 Potência produzida na zona 5 da medição da velocidade do vento.

Na zona 6 a potência total foi de 27,14 W, com uma energia total de 48,85 J, A potência calculada varia entre 0,01 W a 0,23 W.

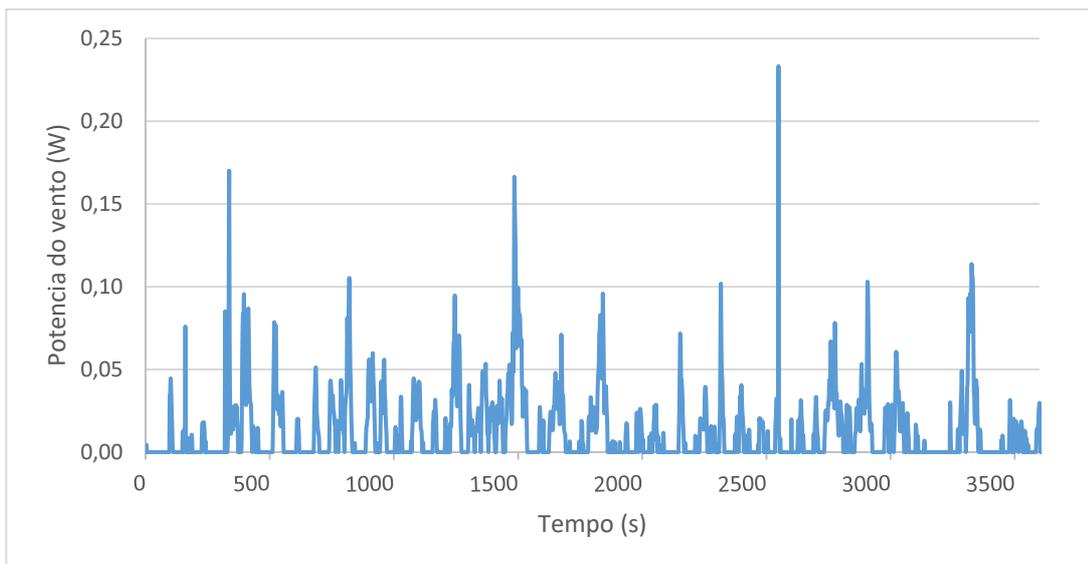


Gráfico 2. 12 Potência produzida na zona 6 da medição da velocidade do vento.

Em todos os picos de potências foram devidos a passagem dos carros em simultâneo ou autocarros.

2.5 Estimavas da potência produzida por aerogerador

Cálculo da potência do vento para turbina de eixo vertical.

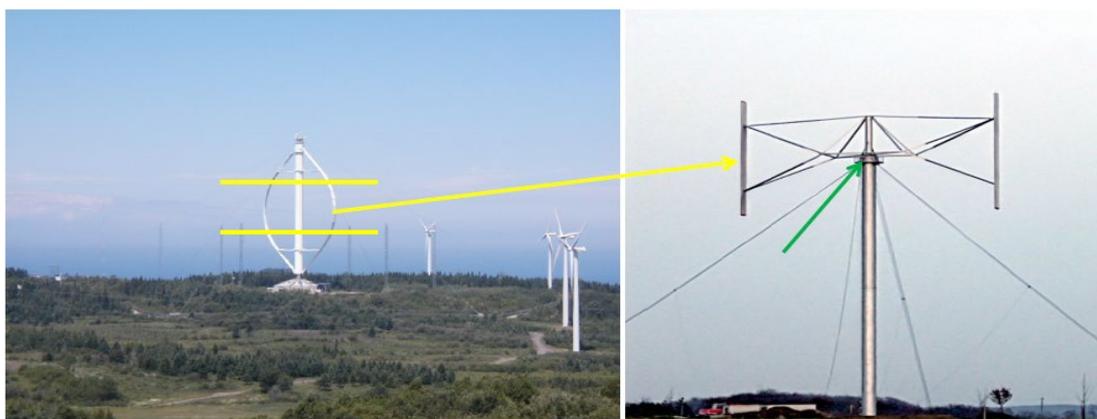


Figura 2. 6 Turbina de eixo vertical adaptado de [23].

Para turbina vertical do eixo do vento ter rotor de diâmetro D e altura h :

$$A = D \times h \quad (3.3)$$

Onde:

A = Área do fluxo de vento (metro quadrado);

D = Diâmetro (metro);

h = Altura (metro).

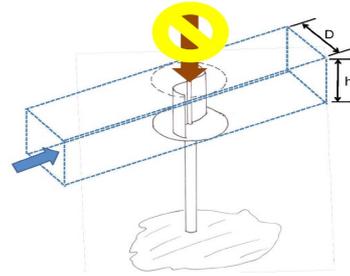


Figura 2. 7 A área do fluxo de vento de uma turbina vertical adaptado de [23].

A fórmula da potência:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 = \frac{1}{2} \rho D h V^3 \quad (3.4)$$

Onde:

P = Potência (Watt);

v = Velocidade do vento (m/s).

Foi escolhida um tipo de turbina Darrieus [24], porque as turbinas Darrieus em geral apresentam uma maior eficiência, é um único tipo de turbina de eixo vertical desenvolvido para fins comerciais. Para obter uma estimativa da potência diferentes com um microturbina, foi mantida a dimensão do rotor da turbina escolhida e variando (diminuindo) a sua altura, onde as características deles estão apresentados na Tabela 3. 7.

Tabela 2. 4 Características das Turbina Darrieus adaptado de [24].

Dados	Turbina escolhida A1 -Turbina eólica de eixo vertical da MPPT 300W 12 / 24V - 12V	Exemplo A2-turbina eólica de eixo vertical	Exemplo A3-turbina eólica de eixo vertical
Velocidade inicial do vento (m/s)	1,5	1,5	1,5
Diâmetro da roda de vento (m)	0,47	0,47	0,47
Altura da roda de vento (m)	0,96	0,5	0,75

No Gráfico 2. 13 Estimavas da potência produzida por aerogerador da turbina escolhida A1 para o primeiro exemplo de turbina eólica de eixo vertical a A2 houve uma diminuição de 48% da potência e em relação a A3 22%, quanto maior a dimensão da turbina maior é a potencia produzida. Como o aerogerador vai ser instalado no meio de estrada a melhor escolha seria o A2, e também a sua dimensão é mais adequada para a capitação de toda a velocidade do vento produzidas pelas passagens dos carros, ou seja, os carros mais comuns nas estradas têm aproximadamente 1,22 metro e o aerogerador vai ficar instalado a está altura, o que possibilita o aproveitamento de todo o fluxo de ar produzido pela passagem do carro, mesmo nas zonas com baixo tráfego há produção de energia.

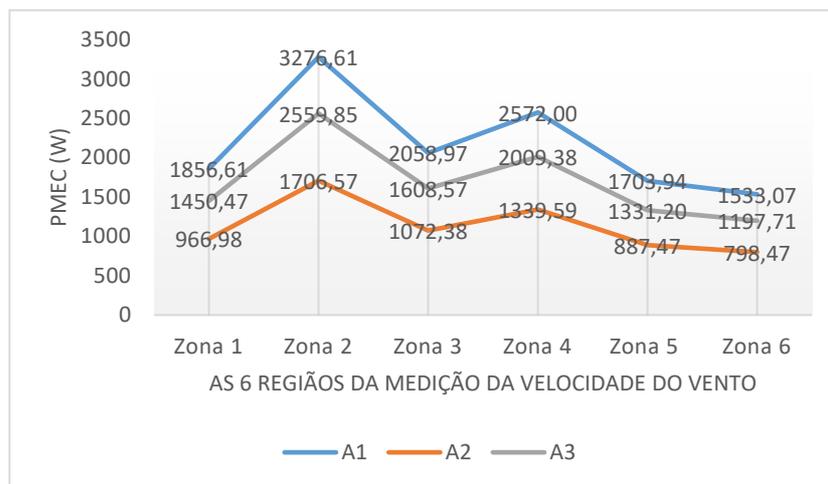


Gráfico 2. 13 Estimavas da potência produzida por aerogerador

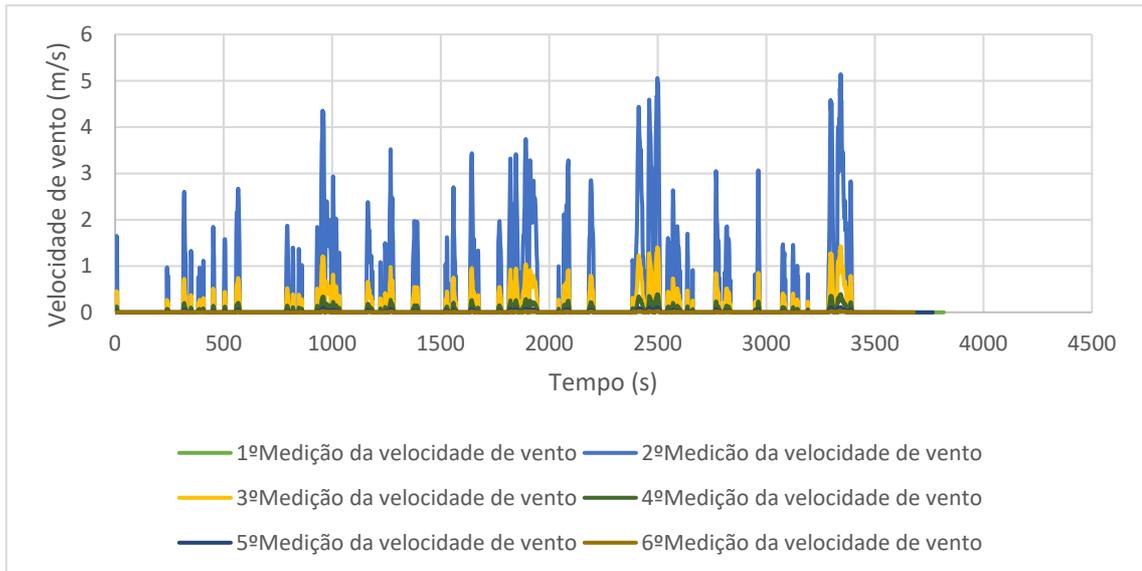


Gráfico 2. 14 Dados da velocidade do vento nos 6 locais.

Tabela 2. 5 Potência, energia e velocidade máxima de cada região.

Dados	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
$v_{m\acute{a}x}$ (m/s)	5,14	10,29	5,55	4,57	8,43	5,04
$P_{m\acute{a}x}$ (W)	0,24	0,97	0,28	0,19	0,65	0,23
$E_{m\acute{a}x}$ (J)	0,44	1,75	0,51	0,34	1,17	0,42

3 Conclusões e trabalhos futuros

Dos dados da velocidade de vento medido os valores variam com mais frequência entre 0,01 m/s a 4 m/s, e a velocidade de vento que o aerogerador escolhido arranca normalmente é de 2 m/s, e este valor encontra dentro da gama de valores medido pelo anemómetro. A observação feita durante a medição do vento culminou que as condições favoráveis para a produção de vento através dos movimentos dos carros são: num lugar com alto tráfego de veículo em específicos autocarros, poucos semíferos ao longo da estrada e perto de uma zona marítima.

A potência máxima da velocidade de vento medido foi de 1 W durante 1 hora, estimando esta para 24 hora poderia obter um valor superior a 24 W dependendo das condições do tráfego de carro.

A turbina eólica que mais adapta no projeto é a turbina eólica de eixo vertical por não apresentar um mecanismo de acompanhamento da direção do vento, já que os fluxos de ar produzido pela passagem do carro são omnidirecionais. A turbina tufão não é adequado para o projeto porque o vento produzido pode não o fazer funcionar.

Para o trabalho futuro fazer a medição da velocidade do vento durante um dia e estimar a energia produzida e instalar um aerogerador, com um multímetro fazer o registo da energia produzida, e desenvolver um sistema de armazenamento de energia.

4 Anexo

4.1 Anexo 1

Imagem da perturbação do interruptor eletromecânico e a imagem do osciloscópio após utilização de circuito de *debounce* com condensador de $1\mu\text{F}$.

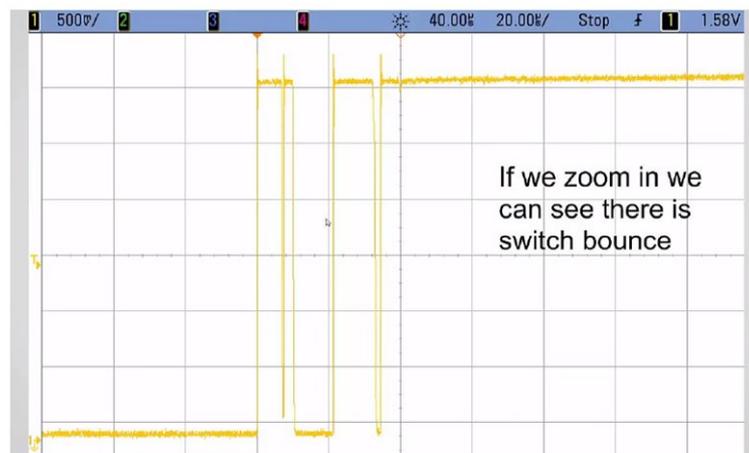


Figura 4. 1 Imagem de osciloscópio onde se pode ver as vibrações do interruptor eletromecânico. Adaptado de [22].



Figura 4. 2 Imagem do osciloscópio após a utilização de circuito de *debounce* com condensador de $1\mu\text{F}$ adaptado de [22].

4.2 Anexo 2

O registo dos dados lidos pelo sistema é feito em cartão de memória Micro SD num ficheiro de texto (ficheiro.txt). A função responsável pelo registo dos dados começa por verificar a existência do cartão Micro SD, seguidamente do ficheiro “data.txt” e caso este não exista, é criado com as unidades dos dados na primeira linha, separadas por vírgulas. Seguidamente os dados são gravados no ficheiro, separados por vírgulas de modo a facilitar a importação por parte de um ficheiro Excel.

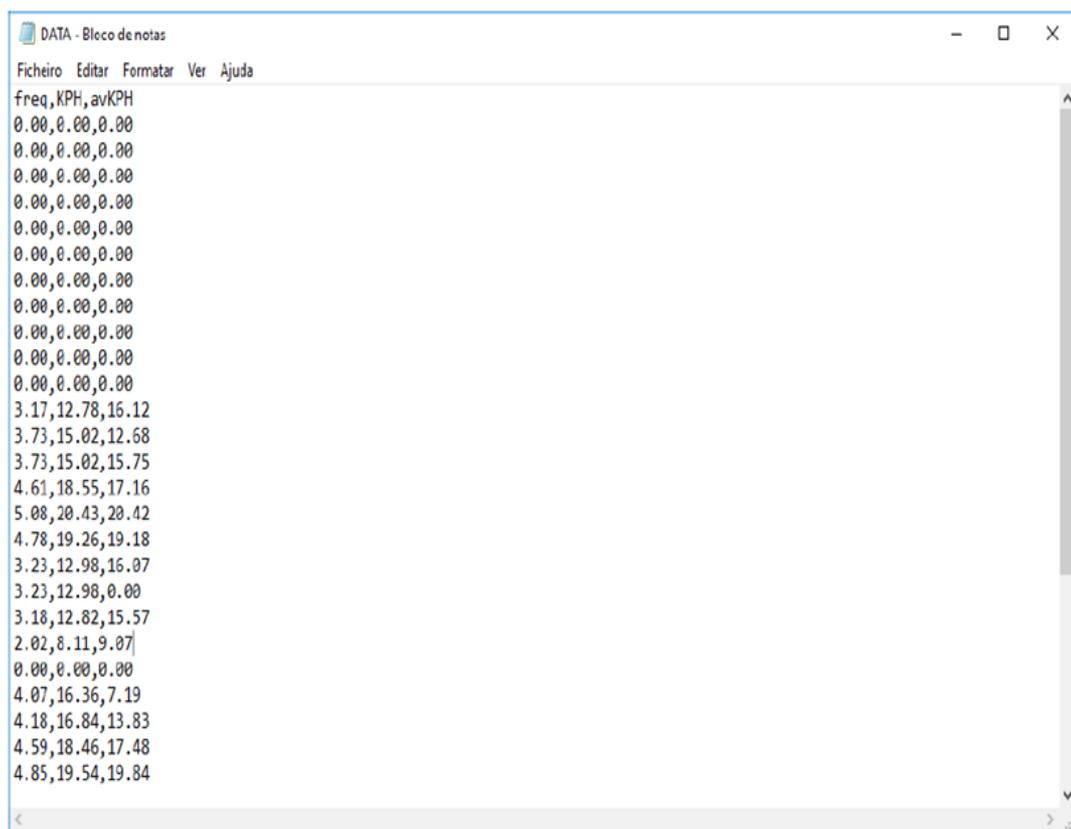


Figura 4. 3 Ficheiro de texto com os dados recolhidos gravados.

Explicação do código desenvolvido.

```
/*  
Writing Sensor Data to an SD card  
//  
This example shows how to write data  
to an SD card using the SD library.
```

```

//
The circuit:
SD card attached to SPI bus as follows:
** MOSI - pin 11
** MISO - pin 12
** CLK - pin 13
** CS - pin 10 Uno (53 on Mega)
Based on code by Tom Igoe

*/
//
#include "SD.h"
#include "SPI.h"
//
//the hardware CS pin (10 on most Arduino boards,
// 53 on the Mega) must be left as an output or the SD
// library functions will not work.

const byte interruptPin = 3; //anemometer input to digital
pin
volatile unsigned long sTime = 0; //stores start time for
wind speed calculation
unsigned long dataTimer = 0; //used to track how often to
communicate data
volatile float pulseTime = 0; //stores time between one an-
emometer relay closing and the next
volatile float culPulseTime = 0; //stores cumulative
pulsetimes for averaging
volatile bool start = true; //tracks when a new anemometer
measurement starts
volatile unsigned int avgWindCount = 0; //stores anemometer
relay counts for doing average wind speed
float aSetting = 60.0; //wind speed setting to signal alarm

const int CSpin = 10;
String dataString = ""; // holds the data to be written to
the SD card

```

```
String unity = ""; //holds the unitys written on the first
line of the file.
```

```
File sensorData;
```

```
//This is the interrupt service routine (ISR) for the ane-
mometer input pin
```

```
//it is called whenever a falling edge is detected
```

```
void anemometerISR() {
```

```
unsigned long cTime = millis(); //get current time
```

```
if (!start) { //This is not the first pulse and we are not
at 0 MPH so calculate time between pulses
```

```
// test = cTime - sTime;
```

```
pulseTime = (float)(cTime - sTime) / 1000;
```

```
culPulseTime += pulseTime; //add up pulse time measurements
for averaging
```

```
avgWindCount++; //anemomter went around so record for cal-
culating average wind speed
```

```
}
```

```
sTime = cTime; //store current time for next pulse time
calculation
```

```
start = false; //we have our starting point for a wind speed
measurement
```

```
}
```

```
//Esta função só "corre" uma vez, no início.
```

```
void setup() {
```

```
pinMode(13, OUTPUT); //setup LED pin to signal high wind
alarm condition
```

```
pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP); //set interrupt pin to
input pullup
```

```
attachInterrupt(interruptPin, anemometerISR, RISING);
//setup interrupt on anemometer input pin, interrupt will
occur whenever falling edge is detected
```

```
dataTimer = millis(); //reset loop timer
```

```
pinMode(CSpin, OUTPUT);
```

```
if (SD.begin(CSpin)) {
```

```
if (!SD.exists("data.txt")) { //see if the file data.txt
exists
```

```

createFile();
}
}
}

//Esta função está infinitamente a "correr"
void loop() {
  unsigned long rTime = millis();
  if ((rTime - sTime) > 2500) pulseTime = 0; //if the wind
  speed has dropped below 1MPH than set it to zero
  if ((rTime - dataTimer) > 1800) { //See if it is time to
  transmit

  detachInterrupt(interruptPin); //shut off wind speed meas-
  urement interrupt until done communication
  float aWSpeed = getAvgWindSpeed(culPulseTime, avgWindCount);
  //calculate average wind speed
  if (aWSpeed >= aSetting) digitalWrite(13, HIGH); // high
  speed wind detected so turn the LED on
  else digitalWrite(13, LOW); //no alarm so ensure LED is off
  culPulseTime = 0; //reset cumulative pulse counter
  avgWindCount = 0; //reset average wind count
  float aFreq = 0; //set to zero initially
  if (pulseTime > 0.0) aFreq = getAnemometerFreq(pulseTime);
  //calculate frequency in Hz of anemometer, only if pulsetime
  is non-zero
  float wSpeedMPH = getWindMPH(aFreq); //calculate wind speed
  in MPH, note that the 2.5 comes from anemometer data sheet
  float wSpeedKPH = getWindKPH(wSpeedMPH); //calculate wind
  speed in KPH

```

```

/*Serial.begin(57600); //start serial monitor to communicate wind data
Serial.println();
Serial.println(".....");
Serial.print("Anemometer speed in Hz ");
Serial.println(aFreq);
Serial.print("Current wind speed is ");
Serial.println(wSpeedKPH);
Serial.print("Current average wind speed is ");
Serial.println(aWSpeed);
Serial.end(); //serial uses interrupts so we want to turn it off before we turn
the wind measurement interrupts back on*/

```

```

// build the data string
dataString = String(aFreq) + "," + String(wSpeedKPH) + ","
+ String(aWSpeed); // convert to CSV
saveData(); // save to SD card
//delay(2000); // delay before next write to SD Card, adjust
as required
start = true; //reset start variable in case we missed wind
data while communicating current data out
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), ane-
mometerISR, RISING); //turn interrupt back on
dataTimer = millis(); //reset loop timer
}
}

void createFile() { //creates file
sensorData = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
sensorData.close();
dataString = "freq,KPH,avKPH";
saveData();
return;
}

void saveData() { //saves the string in the file
if (SD.exists("data.txt")) { // check the card is still there
// now append new data file
//Serial.println("data.csv exists");
sensorData = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
if (sensorData) {
sensorData.println(dataString);
sensorData.close(); // close the file
}
}
//else {
// Serial.println("Error writing to file !");
//}

```

```

}

//using time between anemometer pulses calculate frequency
of anemometer

float getAnemometerFreq(float pTime) {
return (1 / pTime);
}

//Use anemometer frequency to calculate wind speed in MPH,
note 2.5 comes from anemometer data sheet

float getWindMPH(float freq) {
return (freq * 2.5);

}

//uses wind MPH value to calculate KPH

float getWindKPH(float wMPH) {
return (wMPH * 1.61);
}

//Calculates average wind speed over given time period in
KPH

float getAvgWindSpeed(float cPulse, int per) {
if (per) return getWindKPH(getWindMPH(getAnemome-
terFreq((float)(cPulse / per))));
else return 0; //average wind speed is zero and we can't
divide by zero
}

```

5 Bibliografia

- [1] A. Y. S. Duarte, R. A. Sanches, and F. G. Dedini, “Assessment and technological forecasting in the textile industry: From first industrial revolution to the Industry 4.0,” *Strateg. Des. Res. J.*, vol. 11, no. 3, pp. 193–202, 2018.
- [2] M. Hulme, “On the origin of ‘the greenhouse effect’: John Tyndall’s 1859 interrogation of nature,” *Weather*, vol. 64, no. 5, pp. 121–123, 2009.
- [3] E.-E. de Portugal, “Eficiência Energética,” p. 44, 2006.
- [4] A. Sereno, “Quo Vadis ‘Europa Verde’? - A Política de Ambiente da União Europeia e o Combate às Alterações Climáticas,” *CC BY-NC-ND*, vol. 3, no. 5, pp. 123–149, 2018.
- [5] L. A. M. M. C. A. A. de Castro, “O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo,” *SciELO*, 2007.
- [6] Ammonit, “O QUE É A ENERGIA EÓLICA?,” *Ammonit Measurement GmbH*, 2016. [Online]. Available: <https://www.ammonit.com/pt/energia-eolica/energia-eolica>.
- [7] A. C. A. C. Ferreira, J. R. M. Oliveira, and R. U. I. A. R. Ramos, “TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE ESTRADAS.”
- [8] PORDATA, “No Title,” 2018. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/>.
- [9] Challengery, “New Wind Turbines Could Power Japan for 50 Years After a Single Typhoon,” *GIZMODO*, 2016. [Online]. Available: <https://gizmodo.com/new-wind-turbines-could-power-japan-for-50-years-after-1787191781>.
- [10] A. Dimitrijevic, *Highway wind energy*. 2008.
- [11] E. S. C. e G. D. M. PAIVA, “PROJETO AERODINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL (TEEV) PARA AMBIENTES URBANOS PROJETO AERODINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL (TEEV) PARA AMBIENTES URBANOS,” p. 71, 2016.
- [12] J. D. Neto, “Energia Eólica - Princípios e Tecnologia.” [Online]. Available: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAetUgAK/energia-eolica-principios-tecnologia?part=3>.
- [13] R. Isabel and P. Moreira, “Avaliação do potencial eólico em regime de microgeração,” 2010.
- [14] I. Pereira, “Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas,” p. 116, 2011.
- [15] K. Waghmode, *Generation of electricity on highways by VAWT(vertical axis wind turbine)*. 2014.

- [16] L. C. Santos, “Harnessing wind energy from traffic Read more at: <https://www.idtechex.com/research/articles/harnessing-wind-energy-from-traffic-00003093.ja.asp?donotredirect=true&setlang=ja>,” *IDTechEx*, 2011. [Online]. Available: <https://www.idtechex.com/research/articles/harnessing-wind-energy-from-traffic-00003093.ja.asp?donotredirect=true&setlang=ja>.
- [17] J. Voelcker, “Could Passing Cars Power Wind-Turbine Highway Lights?,” *greencarreports*, 2010. [Online]. Available: https://www.greencarreports.com/news/1042537_could-passing-cars-power-wind-turbine-highway-lights.
- [18] Joe, “STUDENT DESIGN TURNS HIGHWAYS INTO WIND FARMS,” *inhabitat*, 2007. [Online]. Available: <https://inhabitat.com/infographic-how-wind-turbines-actually-work/>.
- [19] Amazon, “Inspeed Vortex Wind Speed Sensor.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Inspeed-Vortex-Wind-Speed-Sensor/dp/B00PPOPLBY>.
- [20] C. C. C. E. L. Me, “Arduino Uno.” [Online]. Available: <https://www.curtocircuito.com.br/arduino-uno-r3-com-cabo-usb.html>.
- [21] R. Almeida, “Leitura de chaves mecânicas e o processo de debounce,” *Embarcados*, 2014. [Online]. Available: <https://www.embarcados.com.br/leitura-de-chaves-debounce/>.
- [22] ForceTronics, “Measuring Wind Speed with an Anemometer and Arduino,” *ForceTronics*, 2016. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=emE6yWWQUHg>.
- [23] Coursera, “No Tit.” [Online]. Available: <https://www.coursera.org/learn/sustainability-social-ecological-systems>.
- [24] Banggood, “Gerador vertical da turbina eólica da linha central da levitação magnética da hélice de MPPT 300W 12 / 24V - 12V,” *banggood*. [Online]. Available: https://pt.banggood.com/MPPT-300W-1224V-Helix-Magnetic-Levitation-Axis-Vertical-Wind-Turbine-Generator-p-1403297.html?akmClientCountry=PT&gmcCountry=PT¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgcs&utm_content=garmarman&utm_campaign=pla-ptg-all-pc&ID=49552&cur_warehouse=CN.