



**João Luís dos Santos Cunha**

## **Sistema de monitorização online**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Energias Renováveis – Conversão Elétrica e Utilização Sustentável

Orientador: Doutor João Francisco Alves Martins  
Co-orientador: Mestre Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Júri:

Presidente: Doutor Rui Manuel Leitão Santos Tavares  
Arguente: Doutor João Miguel Murta Pina



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março 2013**



## **Copyright**

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 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.



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Doutor João Martins e ao Mestre Pedro Pereira, pela ideia desta dissertação, pelo apoio, troca de ideias e paciência que tiveram ao longo da realização da dissertação. O meu sincero agradecimento.

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão que sempre me apoiaram em tudo na vida. O meu obrigado pelo esforço financeiro ao longo destes anos e por terem sempre acreditado que seria capaz de alcançar os meus objetivos, sem eles não seria possível chegar aqui.

O meu obrigado a todos os professores que apanhei na minha vida académica.

E por ultimo mas não menos importante, a todos os colegas e amigos com quem tive o prazer de trabalhar e conviver durante esta fase importante da minha vida.



## **RESUMO**

A necessidade de um crescimento sustentável fez da microgeração uma aposta de futuro com a produção de eletricidade a partir de fontes de energias renováveis que não comprometem o futuro.

O trabalho realizado nesta dissertação incide sobre a criação de uma ferramenta online que permite ao utilizador ficar a conhecer melhor a produção de eletricidade a partir da energia solar e da energia eólica utilizando painéis fotovoltaicos e gerador eólico, respetivamente. O sistema interliga os dados recolhidos da produção de eletricidade dos painéis fotovoltaicos e do gerador eólico, o consumo do departamento de Engenharia Eletrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologia e os dados meteorológicos recolhidos no local. A ferramenta online permite cruzar todos os dados e fazer uma monitorização online da produção e consumo de eletricidade e prever a produção em função das condições atmosféricas através de uma interface simples e de fácil acesso.



## **ABSTRACT**

The need for a sustainable growth made the microgeneration a bet for the future of electricity production from renewable energy sources that do not compromise the future.

The work in this Thesis focus in the creation of an online tool that allows to users learn about the production of electricity from solar and wind energy using photovoltaic panels and wind generators, respectively. The system integrates the energy parameters of systems of power generation from photovoltaic panels and wind generator as well the consumption of the Department of Electrical Engineering in Faculty of Science and Technology and information about weather conditions. The online tool allow to cross all data and make an online monitoring of the production and consumption of electricity production and predict the electricity production from weather through a simple interface and easy access.



## Índice geral

Copyright.....	I
AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VII
Índice geral.....	IX
Índice de figuras .....	XI
Índice de tabelas .....	XIII
Lista de acrónimos .....	XV
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1    Enquadramento e motivação .....	1
1.2    Objetivo.....	1
1.3    Estrutura .....	2
Capítulo 2 – Estado de arte .....	3
Capítulo 3 – Energias renováveis.....	7
3.1    Energia eólica.....	7
3.1.1    Introdução à energia eólica.....	7
3.1.2    Medição do vento .....	9
3.1.3    Situação em Portugal.....	10
3.1.4    Geradores eólicos .....	11
3.1.5    Cálculo da potência elétrica .....	12
3.2    Energia solar.....	13
3.2.1    Introdução à energia solar .....	13
3.2.2    Situação em Portugal.....	14
3.2.3    Painéis fotovoltaicos .....	14
3.2.4    Tipos de células.....	15
3.2.5    Condições de referência .....	17
3.2.6    Curva I-V e P-V .....	17
3.2.7    Efeito e medição da irradiância .....	18
3.2.8    Efeito e medição da temperatura .....	20
Capítulo 4 – Implementação .....	23
4.1    Sistema .....	23

4.2	Gerador eólico .....	24
4.3	Painéis fotovoltaicos .....	25
4.4	Central meteorológica .....	28
4.4.1	Medição da direção e velocidade do vento.....	29
4.4.2	Medição da temperatura .....	30
4.4.3	Medição da irradiância.....	31
4.5	Contadores.....	32
4.6	Base de dados .....	34
4.7	Interface utilizador .....	39
Capítulo 5 – Resultados obtidos.....		49
5.1	Potência das renováveis face às variações meteorológicas .....	50
5.2	Correlação dos dados .....	53
5.3	Variação da direção do vento. ....	60
5.4	Produzido Vs. Consumido.....	61
5.5	Máximos, mínimos e médias registadas.....	62
Capítulo 6 – Conclusões e perspetivas futuras.....		63
6.1	Conclusões .....	63
6.2	Perspetivas futuras.....	63
Bibliografia .....		65

## Índice de figuras

Figura 2.1 – Exemplo de gráfico do site <a href="http://www.windenergy.org">http://www.windenergy.org</a> .....	3
Figura 2.2 – Exemplo de gráfico do site <a href="http://weather.uwaterloo.ca">http://weather.uwaterloo.ca</a> .....	4
Figura 2.3 – Exemplo de gráfico do site <a href="http://uq.edu.au/solarenergy/">http://uq.edu.au/solarenergy/</a> .....	4
Figura 2.4 – Exemplo de um gráfico da monitorização na universidade de Youngstown.....	5
Figura 3.1 – Rosa-dos-ventos (Fonte: <a href="http://www.tn.water.usgs.gov">www.tn.water.usgs.gov</a> ) .....	8
Figura 3.2 - Velocidade e direção do vento em Almada (Fonte: <a href="http://www.windfinder.com">www.windfinder.com</a> ) .....	9
Figura 3.3 – Catavento tipo Wild (Fonte: <a href="http://www.tiempo.com">www.tiempo.com</a> ).....	10
Figura 3.4 – Anemómetro de conchas (Fonte: <a href="http://www.geographylwc.org.uk">www.geographylwc.org.uk</a> ) .....	10
Figura 3.5 – Velocidade do vento em m/s na Europa a 80 m do solo (Fonte: <a href="http://www.3tier.com">www.3tier.com</a> ) .....	11
Figura 3.6 – Distribuição da irradiância (Fonte: <a href="http://www.energiasrenovaveis.com">www.energiasrenovaveis.com</a> ).....	13
Figura 3.7 – Irradiância na Europa (Fonte: <a href="http://www.re.jrc.ec.europa.eu">www.re.jrc.ec.europa.eu</a> ).....	14
Figura 3.8 – Célula fotovoltaica.....	15
Figura 3.9 – Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica (Fonte: <a href="http://www.imagesco.com">www.imagesco.com</a> ).....	15
Figura 3.10 – Três tipos de células descritas na tese (Fonte: <a href="http://www.energiasolar2012.wordpress.com">www.energiasolar2012.wordpress.com</a> ).....	16
Figura 3.11 – Curva I-V (Fonte: <a href="http://www.daviddarling.info">www.daviddarling.info</a> ).....	17
Figura 3.12 – Curva I-V e P-V (Fonte: <a href="http://www.samlexsolar.com">www.samlexsolar.com</a> ).....	18
Figura 3.13 – Influência da irradiância nas características I-V de uma célula fotovoltaica (Adaptado de: <a href="http://www.solarsystems-usa.net">www.solarsystems-usa.net</a> ) .....	19
Figura 3.14 – Piranómetro (Fonte: <a href="http://www.atmosfera.cl">www.atmosfera.cl</a> ).....	19
Figura 3.15 – Influência da temperatura nas características I-V de uma célula fotovoltaica (Fonte: <a href="http://www.pveducation.org">www.pveducation.org</a> ) .....	20
Figura 3.16 – Termómetro com termístor (Fonte: <a href="http://www.davis.com">www.davis.com</a> ) .....	21
Figura 4.1 – Sistema em detalhe .....	23
Figura 4.2 – Sistema em detalhe – Gerador eólico.....	24
Figura 4.3 – Gerador eólico.....	24
Figura 4.4 – Potência gerada pelo aerogerador em função da velocidade do vento segundo o fabricante.....	25
Figura 4.5 – Sistema em detalhe – painéis fotovoltaicos .....	26
Figura 4.6 – Painel fotovoltaico modelo BS 40 .....	26
Figura 4.7 – Painel fotovoltaico modelo SLW 130.....	26
Figura 4.8 – Painéis fotovoltaicos presentes no DEE .....	27
Figura 4.9 - Características I-V dos painéis fotovoltaicos .....	28
Figura 4.10 – Sistema em detalhe – Central meteorológica.....	29
Figura 4.11 – Central meteorológica instalada no DEE.....	29
Figura 4.12 – Anemómetro Davis Cup .....	30
Figura 4.13 – Termómetro ECT Temperature com escudo protetor .....	31
Figura 4.14 – Piranómetro PYR.....	31

Figura 4.15 – Sistema em detalhe – Contadores de energia e <i>datalogger</i> .....	32
Figura 4.16– Contador de energia UPT210.....	33
Figura 4.17 – <i>Datalogger</i> Em50 .....	33
Figura 4.18 – Sistema phpMyAdmin (Fonte: <a href="http://www.phpmyadmin.com">www.phpmyadmin.com</a> ).....	35
Figura 4.19– Sistema em detalhe - interface do utilizador.....	35
Figura 4.20 – Base de dados do departamento.....	36
Figura 4.21 – Base de dados da central meteorológica .....	37
Figura 4.22 – Diagrama da conexão à base de dados da central meteorológica .....	38
Figura 4.23 – Exemplo de um gráfico da amcharts (Fonte: <a href="http://www.amcharts.com">www.amcharts.com</a> ).....	39
Figura 4.24 – Diagrama do site .....	40
Figura 4.25 – Página principal do site.....	41
Figura 4.26 – Calendário para a escolha do(s) dia(s).....	42
Figura 4.27- Diagrama da escolha do dado e dia a visualizar .....	43
Figura 4.28 – Gráfico de vários dados do dia 10 de Outubro de 2012.....	44
Figura 4.29 – Diagrama criação de gráfico .....	45
Figura 4.30 – Dados exportados para o Excel.....	46
Figura 4.31 – Gráfico da correlação no dia 10 de Outubro de 2012 .....	46
Figura 5.1 – Estado do tempo na Costa da Caparica, na data selecionada.....	49
Figura 5.2 – Velocidade média do vento e da potência elétrica do gerador eólico.....	50
Figura 5.3 – Velocidade média do vento e da potência dos painéis fotovoltaicos.....	51
Figura 5.4 – Variação da temperatura e da potência do gerador eólico .....	51
Figura 5.5 – Variação da irradiância e da potência do gerador eólico .....	52
Figura 5.6 – Variação da temperatura e da potência dos painéis fotovoltaicos.....	52
Figura 5.7 – Variação da irradiância e da potência dos painéis fotovoltaicos.....	53
Figura 5.8 – Correlação no dia 10/10/2012.....	54
Figura 5.9 – Correlação no dia 11/10/2012.....	54
Figura 5.10 – Correlação no dia 12/10/2012.....	55
Figura 5.11 – Correlação no dia 13/10/2012.....	55
Figura 5.12 – Correlação no dia 14/10/2012.....	56
Figura 5.13 – Média da correlação dos dias selecionados .....	57
Figura 5.14 – Potência elétrica gerada em função da velocidade do vento.....	58
Figura 5.15 – Potência gerada em função da variação do vento .....	58
Figura 5.16 – Potência elétrica gerada em função da temperatura.....	59
Figura 5.17 – Potência elétrica gerada em função da irradiância.....	59
Figura 5.18 – Variação da direção do vento em graus .....	60
Figura 5.19 – Variação da direção do vento em percentagem .....	60
Figura 5.20 – Produção vs. Consumo .....	61

## Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Características e rendimentos dos tipos de células [9] .....	16
Tabela 4.1 – Especificações do gerador eólico [4].....	25
Tabela 4.2 – Características dos painéis fotovoltaicos em condições STC [4] .....	27
Tabela 4.3 – Especificações do anemómetro Davis Cup [4].....	30
Tabela 4.4 – Especificações do termómetro ECT [4] .....	31
Tabela 4.5 – Especificações do piranómetro PYR [4] .....	32
Tabela 4.6 – Dados recebidos pelos contadores de energia e datalogger.....	34
Tabela 4.7 – Coeficiente de correlação [21].....	47
Tabela 5.1 – Valores máximos, mínimos e médios dos dados recolhidos .....	62



## **Lista de acrónimos**

<b>HTML</b>	HyperText Markup Language
<b>IEC 60904</b>	International Electrotechnical Commission
<b>PHP</b>	HyperText Preprocessor
<b>SI</b>	Sistema Internacional
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>STC</b>	Standard Test Conditions



## Capítulo 1 – Introdução

### 1.1 Enquadramento e motivação

Atualmente vivemos um momento de mudança devido à importância de responder às necessidades do Homem e aos desafios criados pelas alterações climáticas reduzindo a dependência na utilização de combustíveis fósseis. Apesar da evolução do Homem estar relacionada com a utilização destes combustíveis, a sua utilização tem motivado impactos em particular no que respeita à emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa, com especial ênfase no aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Com o intuito de combater o aumento dos gases com efeito de estufa, foi ratificado a nível mundial, o Protocolo de Quioto, em 1997. O protocolo de Quioto fixa em 5% a redução global da emissão de gases com efeito de estufa no período 2008/2012 face ao ano de referência de 1990. Neste contexto, os governos começaram a procurar alternativas energéticas aos combustíveis fósseis. O objetivo seria encontrar uma fonte de energia limpa, segura e que pudesse garantir o contínuo crescimento e desenvolvimento das economias mundiais. O resultado foi várias fontes de energia, a que damos o nome de energias renováveis.

Energias renováveis são energias provenientes de formas naturais que não se esgotam no tempo de vida associado ao Homem, como o sol, o vento ou a água, e que por isso são inesgotáveis. Estas apresentam-se como uma resposta alternativa à atual dependência das fontes de energia esgotáveis provenientes da combustão de combustíveis fósseis. As energias solar e eólica apresentam-se como uma energia renovável, gratuita e limpa, isto é, não produzem gases com efeito de estufa. Assim, as energias solar e eólica têm um papel importante na produção de eletricidade de modo a diminuir a dependência energética a partir de combustíveis fósseis [1].

A produção de eletricidade a partir de algumas fontes renováveis depende fortemente das condições atmosféricas presentes no local e da tecnologia aplicada. De modo a se ter o melhor conhecimento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e qual o seu contributo face ao consumo, é importante poder aceder de forma simples a estes dados. Num mundo ligado pela internet torna-se vantajoso que os dados de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e das condições meteorológicas estejam disponíveis online, sendo assim possível consultar e comparar dados recolhidos nas mais variadas cidades do mundo.

### 1.2 Objetivo

O objetivo da presente dissertação é criar uma plataforma online que permite ao utilizador, a partir de qualquer dispositivo com acesso à internet, aceder aos dados da produção de energia a partir das fontes renováveis e da central meteorológica presentes no departamento de Engenharia Eletrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Os dados provenientes da produção de energia e consumos do departamento são

recebidos por três contadores instalados anteriormente. Os dados da central meteorológica são recolhidos por um datalogger presente junto da mesma. O objetivo passa por dar ao utilizador todos estes dados de uma forma simples e prática de modo a que consiga visualizar a partir de gráficos a produção de energia, consumo do departamento ou a influência que as condições atmosféricas têm na produção de energia a partir de fontes renováveis como é o vento e o sol.

Com a visualização em tempo real dos dados mais importantes e visualização gráfica e de fácil acesso de todos os dados é possível detetar facilmente uma anomalia nos sistemas instalados previamente [3][4].

O sistema deverá dar resposta aos seguintes objetivos:

- Apresentação online dos dados recolhidos dos diversos contadores e datalogger
- Navegação simples e de fácil perceção
- Rápida velocidade no carregamento dos gráficos e exportação dos ficheiros

### **1.3 Estrutura**

A presente dissertação encontra-se dividida em sete partes.

No capítulo 1 é feito um enquadramento histórico e das principais motivações para a sua realização. Também neste capítulo é feita uma descrição sucinta da tese.

No capítulo 2 é descrito o estado de arte. São mostradas várias plataformas online que permitem a visualização dos mais diversos tipos de produção e condições meteorológicas.

No capítulo 3 são explicadas e analisadas as energias eólica e solar, quais as suas características e de forma resumida o princípio de funcionamento das células fotovoltaicas e como estas reagem à alteração de temperatura e da irradiância.

No capítulo 4 é apresentado todo o equipamento do sistema, tal como as suas características. Neste capítulo é também descrito toda a parte de programação que foi realizada para interligar os vários sistemas de modo a que o utilizador pudesse interagir no site com os dados recolhidos.

No capítulo 5 é realizada uma série de testes da plataforma online e discutidos os resultados obtidos.

No capítulo 6 é realizada uma conclusão sobre todo o trabalho desenvolvido. Neste capítulo é também sugerido um trabalho futuro.

## Capítulo 2 – Estado de arte

Neste capítulo serão abordados os sistemas já existentes noutros locais, o que fazem e quais as suas limitações.

O Instituto de Energia Alternativa (Alternative Energy Institute) criou uma plataforma online (<http://www.windenergy.org>) que permite visualizar a energia eólica produzida por 31 locais espalhados pelo estado do Texas. O Instituto de Energia Alternativa foi formado em 1977 na universidade West Texas A & M como consequência da investigação da energia eólica iniciada em 1970. O site permite visualizar para cada local a rosa-dos-ventos e qual a produção mensal, estimativa podendo fazer o download dos dados mensais para um ficheiro de texto. A Figura 2.1 mostra o exemplo dos dados recolhidos durante o ano de 2012.

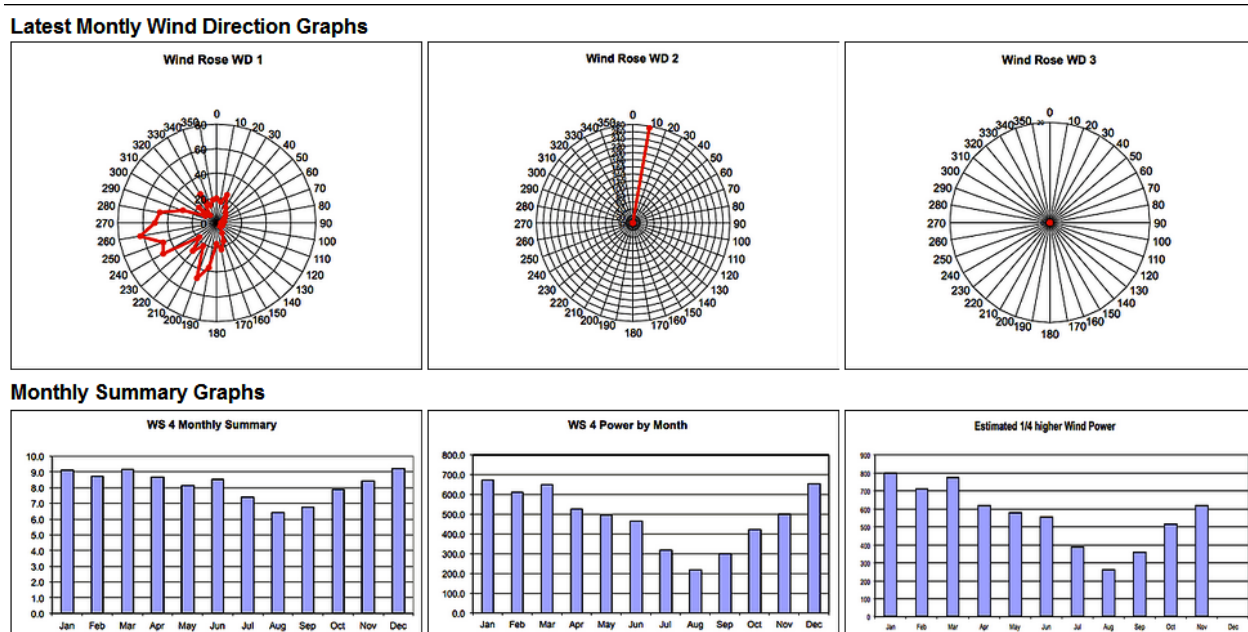


Figura 2.1 – Exemplo de gráfico do site <http://www.windenergy.org>

Os dados recolhidos são mostrados com intervalos de uma hora sendo feito a média aos recolhidos a cada dois segundos.

O departamento de engenharia civil e ambiental da universidade de Waterloo, Ontário, Canadá, criou um site (<http://weather.uwaterloo.ca/default.asp>) onde mostra a leitura da estação meteorológica localizada na universidade.

A estação é composta por dezoito instrumentos de medida, irradiância, humidade, pressão, direção do vento e temperatura, velocidade média do vento a várias alturas. O site só permite visualizar os dados antigos em forma de tabela.

A Figura 2.2 mostra um exemplo de um gráfico disponibilizado pelo site.

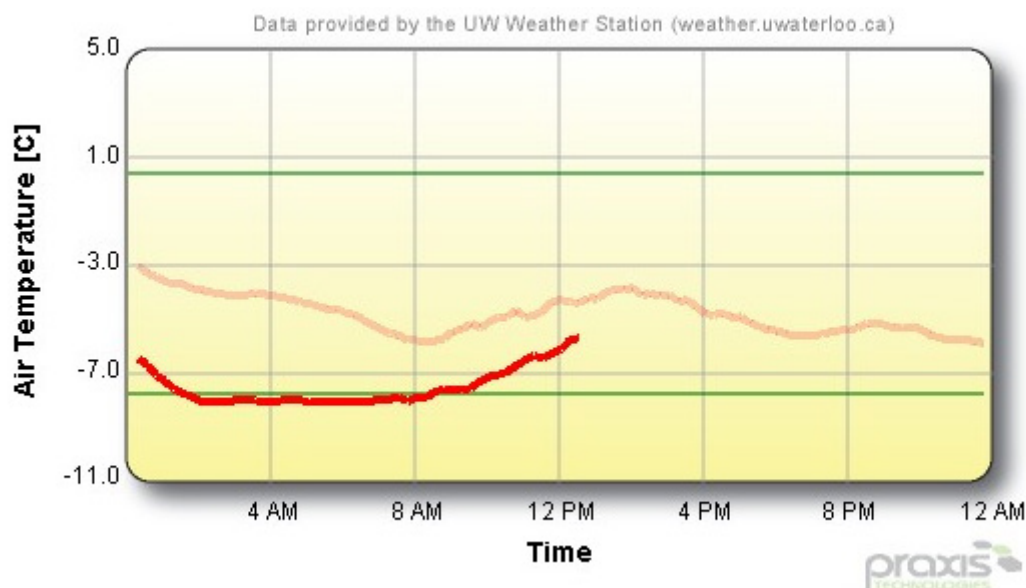


Figura 2.2 – Exemplo de gráfico do site <http://weather.uwaterloo.ca>

A empresa Aurecon, em conjunto com a universidade de Queensland na Austrália, criou uma plataforma online (<http://uq.edu.au/solarenergy/>) que permite visualizar a produção de energia a partir de energia solar e as condições atmosféricas no estado de Queensland. Com sensores espalhados por quatro locais, tem um total de 1,22 MW instalados o que corresponde a quase 25% mais que qualquer outro sistema em cobertura na Austrália. O site permite visualizar em tempo real ou dados anteriores a produção de eletricidade a partir da energia solar, a temperatura e a irradiância. Também permite visualizar o total de dinheiro poupado e emissões de CO<sub>2</sub> que não foram emitidas caso tivesse sido consumida a energia proveniente da rede. A Figura 2.3 mostra a irradiância solar e o que foi produzido pela estação do campus de St Lucia no dia 3 de Março de 2012.

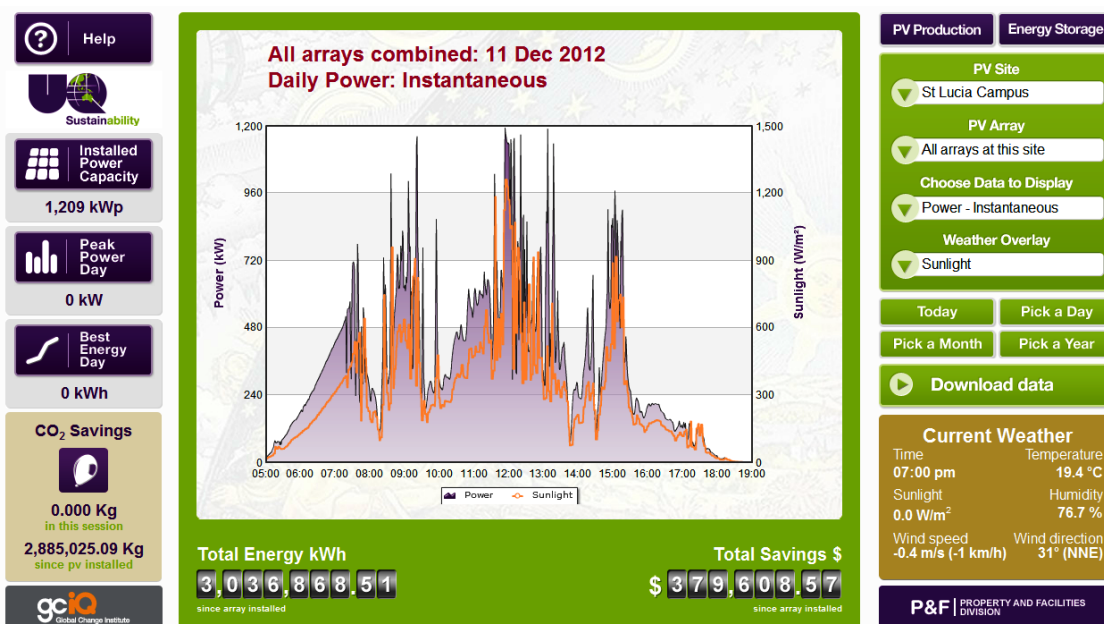


Figura 2.3 – Exemplo de gráfico do site <http://uq.edu.au/solarenergy/>

Os dados são mostrados com um intervalo de um a um minuto mas com a limitação de só dar para ver dias passados e nunca em tempo real.

A Carbon Vision, detentora do sistema de painéis fotovoltaicos localizados na universidade estatal de Youngstown, distribui eletricidade a partir dos painéis fotovoltaicos para a referida universidade. O sistema tem um total de 54,99 kW de potência nominal tendo no total 234 módulos em que cada um tem 235 W e pode ser visualizado em <http://www.carbonvision.com/projects/youngstown-state-university>. A Figura 2.4 mostra a potência gerada durante o dia 3 de Março de 2012.

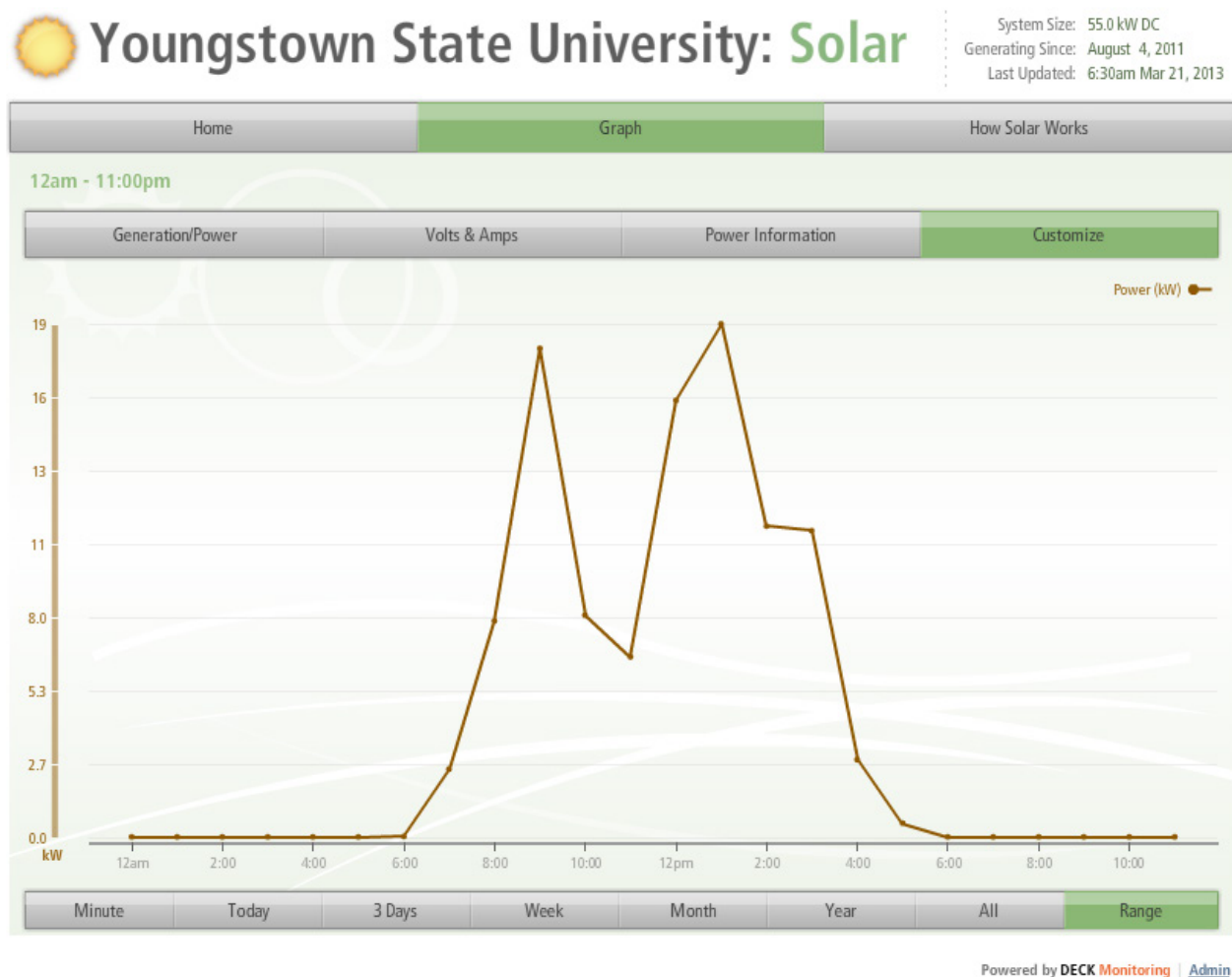


Figura 2.4 – Exemplo de um gráfico da monitorização na universidade de Youngstown

A amostragem dos dados é feita ao minuto. Como se pode visualizar na figura anterior, é possível seleccionar o período de tempo pretendido.

É possível visualizar as potências ativa, aparente e reativa, bem como tensão e corrente.



## Capítulo 3 – Energias renováveis

Neste capítulo são abordadas as fontes de energia renováveis presentes na dissertação, a energia eólica e a energia solar.

### 3.1 Energia eólica

Neste sub-capítulo será explicado como é formado o vento, qual o seu comportamento em relação aos diversos fatores (tipo de terreno, pressão, entre outros) qual a situação de Portugal em relação a este recurso natural e quais as tecnologias existentes para medir e aproveitar a sua energia para o aproveitamento elétrico.

#### 3.1.1 Introdução à energia eólica

A energia eólica corresponde à energia cinética de massas de ar. Estas massas de ar resultam das desigualdades de temperaturas ou de humidade que encontramos na Terra, associadas ao seu movimento de rotação e ao tipo de solos [2].

O movimento do vento é controlado pela combinação de quatro forças básicas mas que dependendo da altitude, algumas forças terão mais influência que outras. As forças que controlam o movimento do vento são:

- Força do gradiente de pressão.
- Força de Coriolis.
- Força de atrito.
- Força da gravidade.

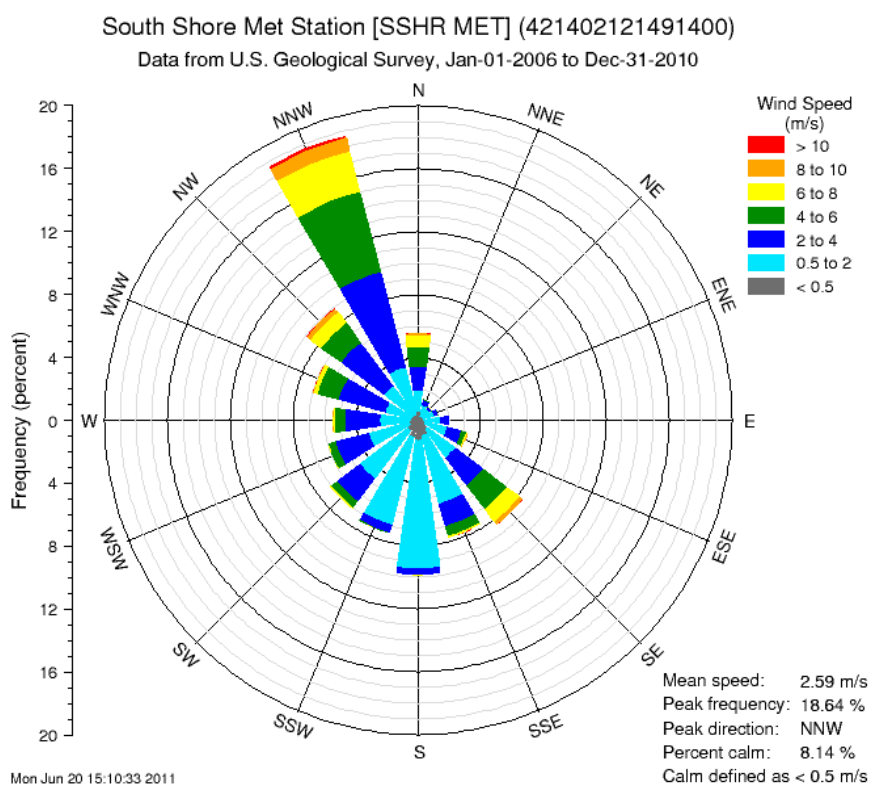
A força do gradiente de pressão resulta de uma variação da pressão do ar de uma determinada região para outra. Se o ar está sujeito a uma pressão maior de uma região que em outra, este desequilíbrio produzirá uma força resultante da região de maior pressão para a região de menor pressão. A diferença de temperatura pode gerar um gradiente de pressão e com isso gerar ventos [2].

A força de Coriolis surge como consequência do movimento da Terra em torno do seu eixo. A força de Coriolis atua sobre a parcela de ar em movimento em relação ao sistema fixo da Terra e sempre perpendicular ao movimento. Devido a este efeito o movimento do ar das zonas de alta pressão para as zonas de baixa pressão sofrem uma deflexão dependendo da zona do planeta onde estejam, caso esteja no hemisfério norte, a deflexão será para a direita, mas no hemisfério sul a deflexão é para a esquerda dependendo diretamente da velocidade do vento [2].

A força de atrito é importante apenas nos primeiros quilómetros da atmosfera, ou seja, mais importante próximo da superfície. Como a força de atrito é referente ao movimento do ar e da superfície acidentada da Terra causa abrandamento e mudança no movimento do ar. Como a força de Coriolis é proporcional à velocidade do vento, ao diminuir a velocidade o atrito reduz a força de Coriolis [2].

A força de gravidade atua na movimentação de ar como atua em qualquer outro corpo, sempre apontando para o centro da Terra. O ar das zonas mais altas desloca-se para as zonas mais baixas.

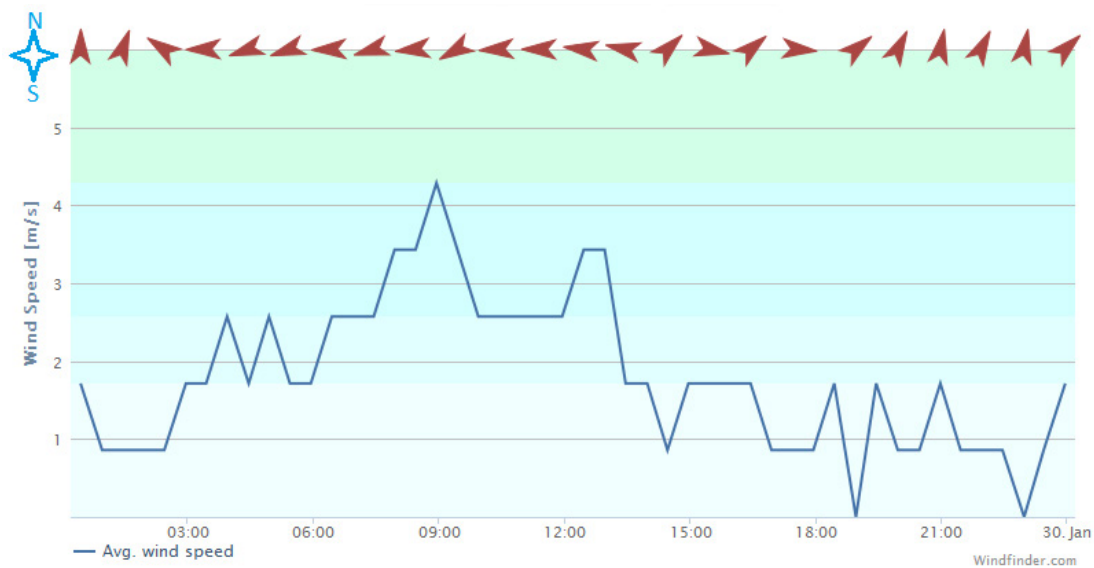
Os ventos são denominados a partir da direção de onde sopram, por exemplo, um vento norte, sopra do norte para o sul. A direção do vento é, portanto, o ponto cardinal de onde vem o vento. A direção do vento é classificada em direções cardinais (Norte, Sul, Este e Oeste), colaterais (Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste) e subcolaterais (Nor-Nordeste, Lés-Nordeste, Lés-Sueste, Su-Sueste, Su-Sudoeste, Oés-Sudoeste, Oés-Noroeste e Nor-Noroeste) ou em graus azimutais (de 0° a 360°).



**Figura 3.1 – Rosa-dos-ventos**  
(Fonte: [www.tn.water.usgs.gov](http://www.tn.water.usgs.gov))

A Figura 3.1 representa uma rosa-dos-ventos. Como se pode ver, é constituída por quadro pontos cardinais, quatro pontos colaterais e oito pontos subcolaterais. Também apresenta a informação da velocidade do vento para cada direção.

Enquanto recurso energético, a característica mais importante da energia eólica é a sua variabilidade, tanto temporal como geograficamente graças às formas mencionadas anteriormente, a velocidade e a direção do vento também estão constantemente a variar ao longo do tempo. Na Figura 3.2 pode-se ver a variação da velocidade e da direção do vento ao longo de um dia na cidade de Almada.



**Figura 3.2 - Velocidade e direção do vento em Almada**  
(Fonte: [www.windfinder.com](http://www.windfinder.com))

Mesmo com uma amostragem de 30 em 30 minutos, consegue-se ver que tanto a velocidade como a direção do vento estão sempre a variar.

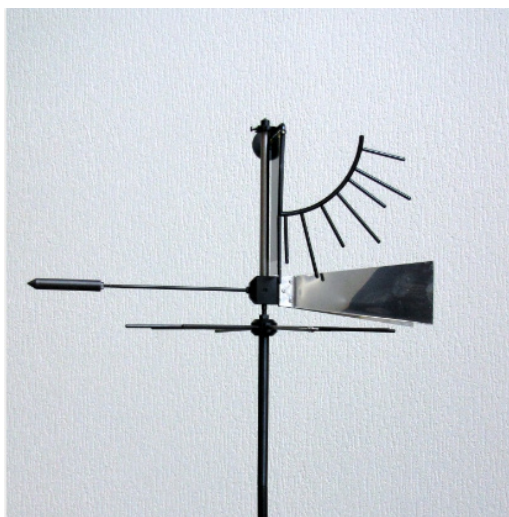
### 3.1.2 Medição do vento

Como o vento tem esta imprevisibilidade torna-se importante medir a intensidade do vento antes de colocar alguma turbina eólica de modo a prever se é rentável a sua instalação.

Dentro dos instrumentos de medição do vento, são destacados dois que são bastantes usados:

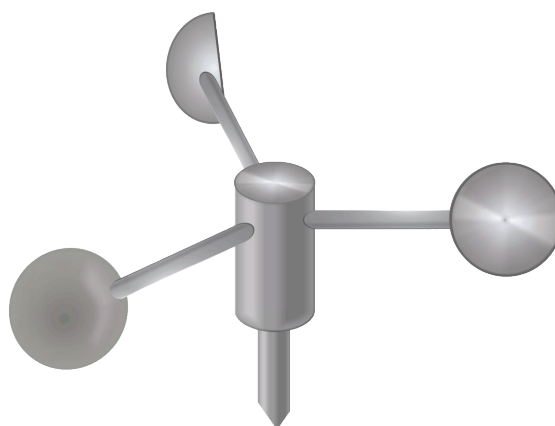
- Catavento tipo Wild.
- Anemómetro de conchas.

O catavento tipo Wild (Figura 3.3) mede a direção e a velocidade do vento. A força do vento é dada pelo ângulo de deflexão que a palheta móvel forma com a vertical. Cada ângulo criado pela palheta com a vertical corresponde a uma velocidade do vento de acordo com a tabela disponibilizada pelo fabricante do respetivo catavento.



**Figura 3.3 – Catavento tipo Wild**  
(Fonte: [www.tiempo.com](http://www.tiempo.com))

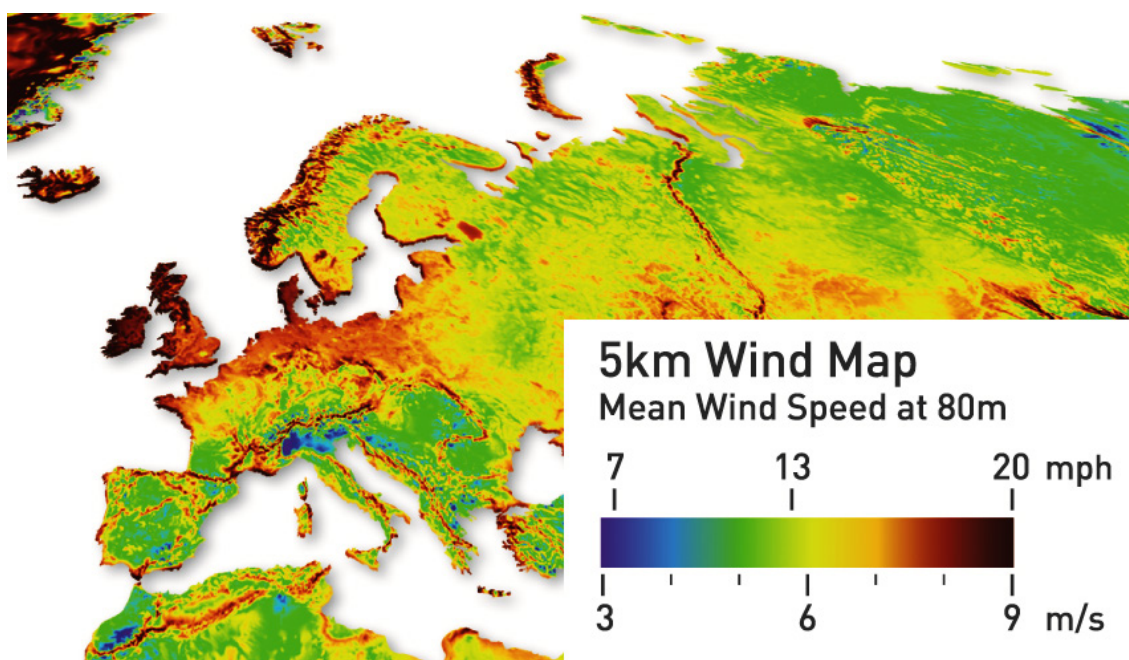
O anemómetro de conchas (Figura 3.4) dá uma medida precisa da velocidade do vento. O vento gira as conchas, que geralmente são três ou quatro, gerando uma corrente elétrica fraca que posteriormente é calibrada em unidades de velocidade.



**Figura 3.4 – Anemómetro de conchas**  
(Fonte: [www.geographylwc.org.uk](http://www.geographylwc.org.uk))

### 3.1.3 Situação em Portugal

Portugal situa-se numa localização privilegiada para o aproveitamento deste recurso natural, a sua fachada litoral juntamente com a morfologia do terreno proporciona em Portugal zonas com um bom aproveitamento eólico, sobretudo nas serras, como ilustra a Figura 3.5.



**Figura 3.5 – Velocidade do vento em m/s na Europa a 80 m do solo**  
(Fonte: [www.3tier.com](http://www.3tier.com))

A Figura 3.5 representa a velocidade do vento na Europa a 80 m do solo e após observação, pode-se concluir que a zona de melhor aproveitamento eólico situa-se no norte da Europa.

Portugal situa-se numa zona da Europa onde o aproveitamento eólico em média atinge a velocidade de 6 m/s mas, no litoral e nas regiões montanhosas a velocidade média atinge 9 m/s e sendo assim um local bastante interessante para o aproveitamento eólico.

### 3.1.4 Geradores eólicos

O primeiro aproveitamento da energia eólica terá sido para movimentar um barco, por ação direta do vento sobre a vela, foi utilizado para bombear água, ou para moer o milho de forma a obter farinha. Mas há pouco mais de 30 anos e através de conhecimentos da indústria aeronáutica os equipamentos para geração de eletricidade a partir da energia eólica começaram a ser desenvolvidos e aperfeiçoados [5].

São as turbinas eólicas que permitem utilizar todo esse potencial, é aqui que se dá a conversão da energia mecânica formada pela passagem do vento nas pás em energia elétrica. Junto com o desenvolvimento das turbinas eólicas teve início um desenvolvimento tecnológico que tem como objetivo a produção de grandes turbinas eólicas para a conexão à rede elétrica. Durante esta fase, não somente os componentes mecânicos tornaram-se mais complexos, como também o sistema elétrico e o controlo da turbina que envolve o mesmo. Existem dois tipos de geradores ou turbinas:

- Eixo vertical.
- Eixo horizontal.

As turbinas de eixo vertical possuem o rotor e pás em posição vertical e rodam de forma perpendicular ao vento. A grande vantagem desta tecnologia é que capta o vento de todas as direções sem necessitar de um sistema de direção, mas têm o grande contra de o custo de fabrico ser mais elevado em comparação com as turbinas de eixo horizontal [5].

As turbinas de eixo horizontal representam a grande maioria das turbinas existentes atualmente, elas possuem um sistema de pás, que são impulsionadas sobre um rotor e têm um segundo eixo direcional. É uma tecnologia que em comparação com a vertical apresenta custos de produção mais baixos e com velocidades de arranque inferiores o que permite captar vento mais fraco. A grande desvantagem em comparação às turbinas de eixo vertical é que necessita de ter uma mecânica mais elaborada [5].

### 3.1.5 Cálculo da potência elétrica

O aproveitamento elétrico a partir do vento depende muito da velocidade deste último, necessitando de um fluxo permanente e razoavelmente forte de vento.

A energia disponível para uma turbina eólica é a energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade uniforme e constante  $v$  (m/s). Na unidade de tempo, aquela coluna de ar, ao atravessar a secção plana transversal  $A$  (m<sup>2</sup>) do rotor da turbina, desloca um caudal  $\rho Av$  (kg/s) em que  $\rho$  é a massa específica do ar [6].

A potência disponível no vento é então proporcional ao cubo da velocidade do vento, como demonstra a seguinte equação:

$$P_{disp} = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)[6]$$

A equação mostra que a potência disponível é fortemente dependente da velocidade do vento.

## 3.2 Energia solar

Neste sub-capítulo é explicada a forma como a energia solar pode ser aproveitada para o aproveitamento elétrico e como as condições atmosféricas alteram a produção de eletricidade.

### 3.2.1 Introdução à energia solar

A energia solar vem daquela que é a nossa fonte de energia principal. É este elemento que permite a existência da vida na Terra e à nossa escala pode-se considerar que se trata de uma fonte inesgotável.

Depois de atravessar a atmosfera e num dia de sol limpo, a energia radiada atinge a superfície terrestre com uma potência de  $1000 \text{ W/m}^2$ . A radiação que atinge a superfície está dividida em três tipos (Figura 3.6): [7]

- Direta – Chega à superfície sem ser modificada pela atmosfera.
- Difusa – Chega à superfície depois de sofrer um desvio.
- Refletida – Chega à superfície proveniente do reflexo no solo ou outros objetos.

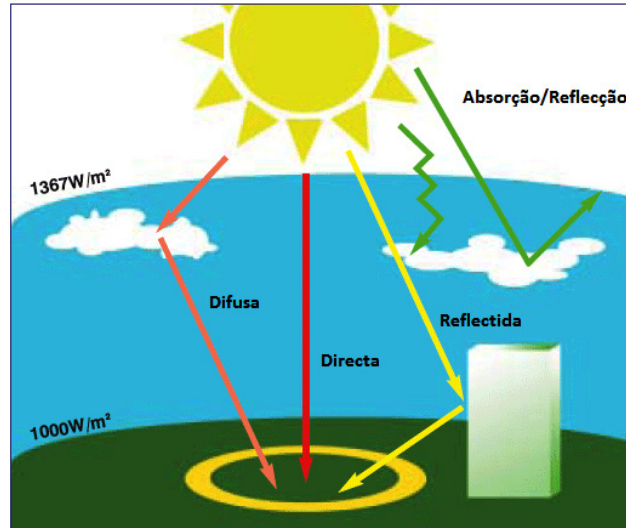
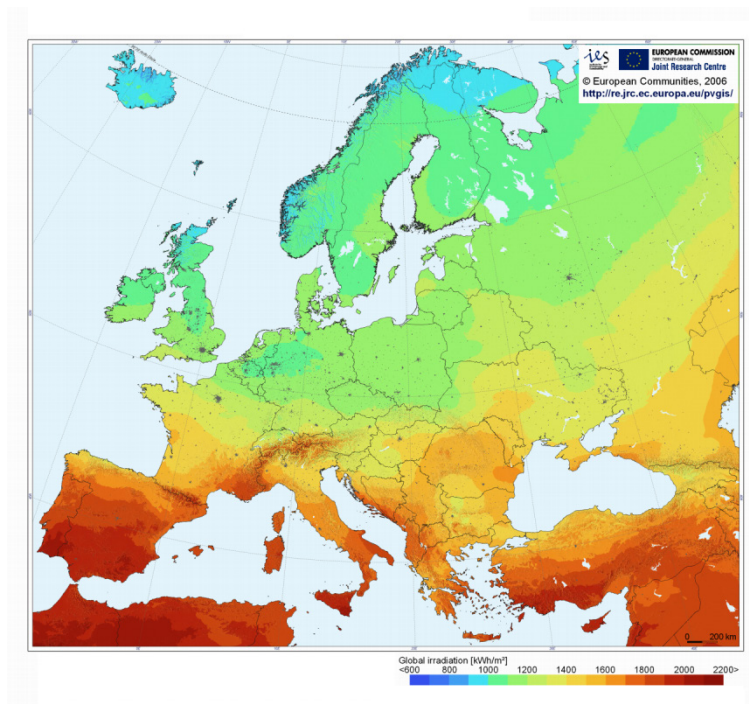


Figura 3.6 – Distribuição da irradiância  
(Fonte: [www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com))

### 3.2.2 Situação em Portugal

Portugal situa-se numa excelente zona para o aproveitamento elétrico a partir da energia solar. O nosso país pode atingir as 3000 h/ano de exposição solar enquanto noutros países da Europa esse número ronda as 1500 h/ano [8].



**Figura 3.7 – Irradiância na Europa**  
(Fonte: [www.re.jrc.ec.europa.eu](http://www.re.jrc.ec.europa.eu))

Como se pode ver na Figura 3.7, Portugal juntamente com o sul da Europa encontra-se numa posição privilegiada para aproveitar a energia do sol.

### 3.2.3 Painéis fotovoltaicos

As células fotovoltaicas (Figura 3.8) são dispositivos capazes de transformar a energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica. Inicialmente foram desenvolvidas com o objetivo de ser aplicadas como fonte de energia em satélites artificiais. Desde os anos 70 a energia fotovoltaica começou a ser comercializada e com isso deu-se um progresso nos materiais e a redução do preço dos mesmos.

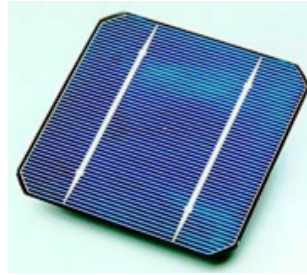


Figura 3.8 – Célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas são constituídas por pelo menos duas camadas de material semicondutor. Os semicondutores têm a capacidade de converter a energia contida num fóton em energia elétrica. Uma célula é geralmente formada por uma junção semicondutora p-n, a qual é composta por uma região dopada por impurezas aceitadoras (tipo p) e outra região composta de impurezas doadoras (tipo n). Se a energia do fóton for suficiente para que um eletrão se mova da banda de valência para a banda de condução, então será criado um par eletrão buraco, originando uma diferença de potencial, como mostra a Figura 3.9.

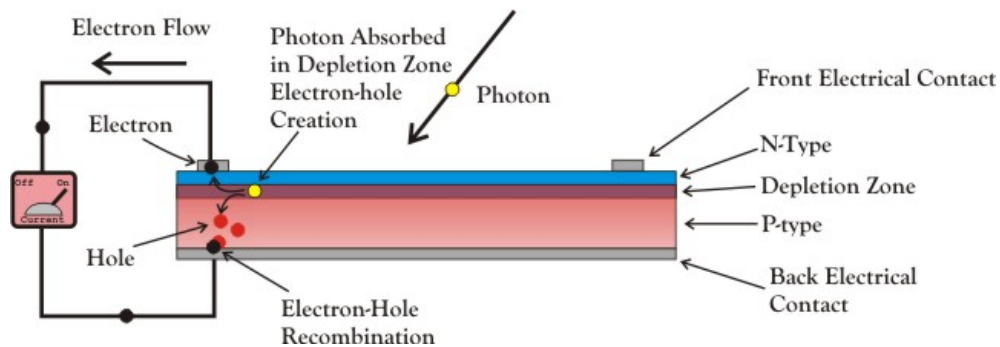
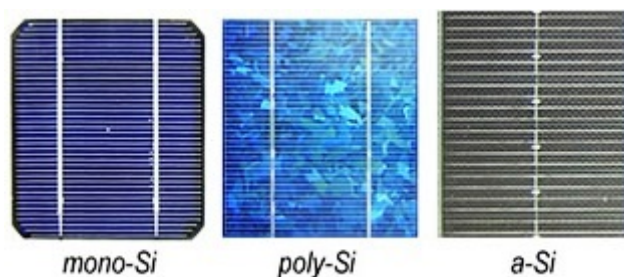


Figura 3.9 – Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica  
(Fonte: [www.imagesco.com](http://www.imagesco.com))

### 3.2.4 Tipos de células

Na produção das células para os painéis fotovoltaicos, existem três grandes tecnologias baseadas em silício (Figura 3.10):

- Silício monocristalino.
- Silício policristalino.
- Silício amorfo.



**Figura 3.10 – Três tipos de células descritas na tese**  
**(Fonte: [www.energiasolar2012.wordpress.com](http://www.energiasolar2012.wordpress.com))**

O silício monocristalino tem um rendimento máximo atingido em laboratório de 24%, o que na prática reduz-se para 14%. O grande contra desta tecnologia é que a sua produção é cara [5].

O silício policristalino é constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano. As discontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de eletrões e encorajam a recombinação com os buracos, o que reduz a potência de saída [5].

O silício amorfo não tem estrutura cristalina apresentando defeitos estruturais e como consequência não pode ser usado para a captação de energia solar, uma vez que aqueles defeitos potenciavam a recombinação dos pares elétron-buraco, mas em junção com átomos de hidrogénio é possível a sua utilização tendo um rendimento prático à volta de 6% [5].

A Tabela 3.1 mostra as principais características e rendimento dos três tipos de células referidas anteriormente.

<b>Tipo de célula</b>	<b>Rendimento</b>	<b>Características</b>
Monocristalino	15 - 18 %	Cristal único Bom rendimento Cor azul homogénea
Policristalino	12 - 18 %	Diferentes cristais Preço inferior ao monocristalino Diferentes tons de azul
Amorfo	< 10 %	Camada fina Células finas em forma de lâmina Cor castanha homogénea

**Tabela 3.1 – Características e rendimentos dos tipos de células [9]**

### 3.2.5 Condições de referência

De modo a se obter os parâmetros de funcionamento nominais da célula/módulo fotovoltaico, existem condições de referência com as quais devem realizar os testes da célula (STC – Standard Test Conditions) e são definidas pela norma IEC 60904 (International Electrotechnical Commission) com as seguintes condições:

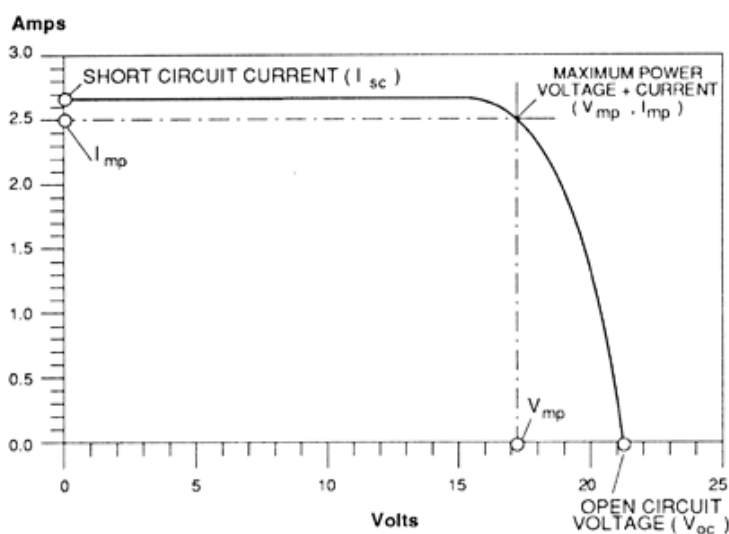
- Temperatura:  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Irradiância:  $G = 1000 \text{ W/m}^2$
- Massa de ar:  $AM = 1,5$

### 3.2.6 Curva I-V e P-V

A curva I-V (Corrente – Tensão) e/ou curva P-V (Potência – Tensão) de um painel fotovoltaico descreve a sua capacidade de conversão de energia para as condições existentes de irradiância e de temperatura. A partir da curva I-V e sabendo que a potência corresponde ao produto da tensão com a corrente, obtém-se a curva P-V.

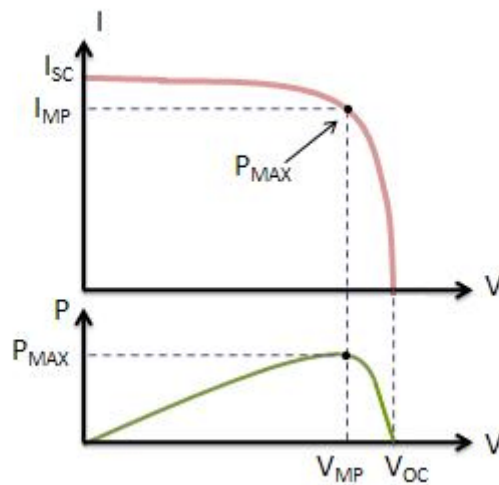
Os painéis fotovoltaicos apresentam uma corrente máxima quando não existe resistência no seu circuito, isto é, quando existe um curto-circuito entre o terminal positivo e negativo. Esta corrente máxima é conhecida como a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ). Quando o módulo está em curto-circuito, a tensão no circuito é zero. Por outro lado, a tensão máxima ocorre quando existe uma interrupção no sistema. Essa tensão é denominada de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ). Sob estas condições não existe corrente porque a resistência é infinitamente elevada.

Estes dois extremos de resistência de carga e a restante gama de condições entre eles estão representados na curva I-V (Figura 3.11).



**Figura 3.11 – Curva I-V**  
(Fonte: [www.daviddarling.info](http://www.daviddarling.info))

A partir da curva I-V obtém-se a curva P-V:



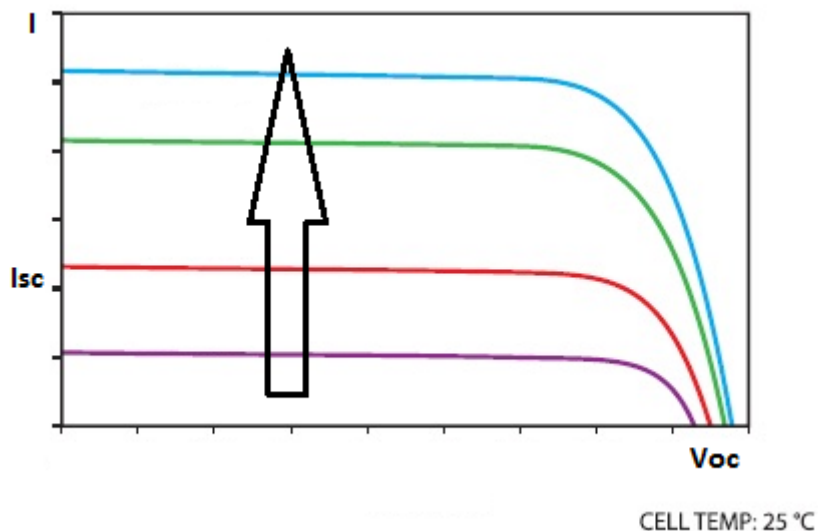
**Figura 3.12 – Curva I-V e P-V**  
(Fonte: [www.samlexsolar.com](http://www.samlexsolar.com))

A potência disponível a partir de um painel fotovoltaico é o produto entre a corrente (A) e a tensão (V) nesse ponto e é expressa em Watts (W). No ponto de corrente de curto-circuito e no ponto de tensão de circuito aberto a potência de saída é zero. A potência máxima está localizada na curvatura da curva, podendo ser apelidado de “joelho”.

### 3.2.7 Efeito e medição da irradiância

A irradiância representa a potência radiante incidente numa superfície por unidade de área, sendo representada por  $W/m^2$ . A irradiância tem um papel importante no aproveitamento da eletricidade a partir da energia solar, sendo assim é importante saber medir e conhecer a irradiância num determinado local [10].

A variação da irradiância produz no painel fotovoltaico uma variação proporcional na corrente gerada. Como se pode ver na Figura 3.13 a corrente ( $I_{SC}$ ) aumenta com o aumento da radiação e a tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ) pouco se altera.



**Figura 3.13 – Influência da irradiância nas características I-V de uma célula fotovoltaica (Adaptado de: [www.solarsystems-usa.net](http://www.solarsystems-usa.net))**

De modo a colocar um painel fotovoltaico no melhor local é necessário fazer a correta medição da irradiância, no mercado existem vários instrumentos, mas o mais comum é o piranómetro.

O piranómetro (Figura 3.14) mede a intensidade da irradiância que atinge uma superfície horizontal. O sensor é um disco que contém vários sectores alternando entre o preto e branco. Os sectores brancos refletem a irradiância e os sectores pretos absorvem a radiação. As diferenças entre os dois sectores criam um contraste de temperatura que é depois calibrado em termos de irradiância.

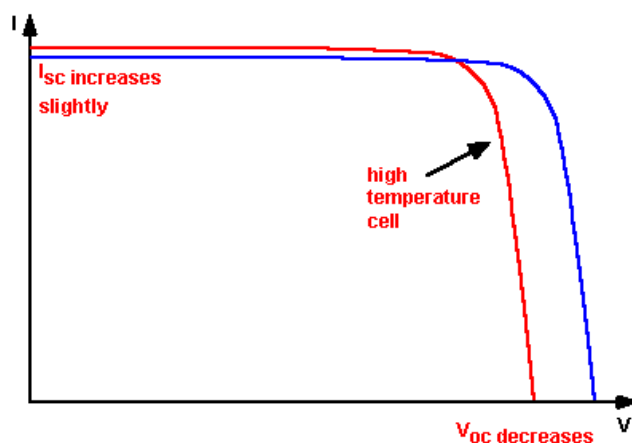


**Figura 3.14 – Piranómetro (Fonte: [www.atmosfera.cl](http://www.atmosfera.cl))**

### 3.2.8 Efeito e medição da temperatura

Como todos os dispositivos semicondutores, as células fotovoltaicas são sensíveis à temperatura, com o aumento da temperatura. Quanto mais temperatura menos potência um painel fotovoltaico consegue produzir e como consequência menos rendimento apresenta [11].

Como se pode ver na Figura 3.15 com o aumento da temperatura verifica-se uma diminuição da tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ) e a corrente ( $I_{SC}$ ) aumenta ligeiramente.



**Figura 3.15 – Influência da temperatura nas características I-V de uma célula fotovoltaica**  
(Fonte: [www.pveducation.org](http://www.pveducation.org))

Num dia de calor a temperatura na superfície do painel fotovoltaico pode facilmente subir e com isso trazer consequências negativas ao seu desempenho. Para evitar isso é necessário colocar um dispositivo para dissipar esse excesso de calor, pode-se colocar a célula num bloco de metal, correndo água através do bloco de forma a manter fresco o sistema. Pode-se colocar um termopar no bloco de modo a calibrar a temperatura do painel fotovoltaico para as condições perfeitas de 25°C.

Mais uma vez, é necessário conhecer o local onde o painel fotovoltaico irá ser colocado. O instrumento mais usual para medir a temperatura é o termómetro (Figura 3.16). Existem vários tipos de termómetro. O de máxima e de mínima indicam a temperatura máxima e mínima registada no dia. Existem também termómetros baseados em termístores, um dispositivo eletrónico semicondutor cuja resistência diminui com o aumento da temperatura, ou seja, a temperatura é indicada como uma função da corrente. Para a meteorologia o instrumento de medida não precisa de ser muito preciso, um erro de 0.2°C é suficiente para se ter uma ideia clara sobre o clima no local. Estes instrumentos devem estar protegidos da irradiância direta e da chuva de modo a não afetar o dado recolhido.



**Figura 3.16 – Termómetro com termistor**  
(Fonte: [www.davis.com](http://www.davis.com))



## Capítulo 4 – Implementação

Neste capítulo será abordado todo o sistema desenvolvido nesta dissertação. Vão ser abordadas todas as montagens já feitas no passado, será apresentado de forma generalista cada um dos aparelhos montados, a estrutura do site, das ligações e da base de dados.

### 4.1 Sistema

O objetivo principal da dissertação centrou-se em criar uma plataforma online que interliga os diversos sistemas já antes criados. Como se pode ver na Figura 4.1 os contadores de energia recebem os dados dos painéis fotovoltaicos, do gerador eólico e do departamento de engenharia eletrotécnica e o datalogger recebe os dados da central meteorológica e de seguida é tudo enviado para a base de dados onde o utilizador através da internet poderá consultar os dados.

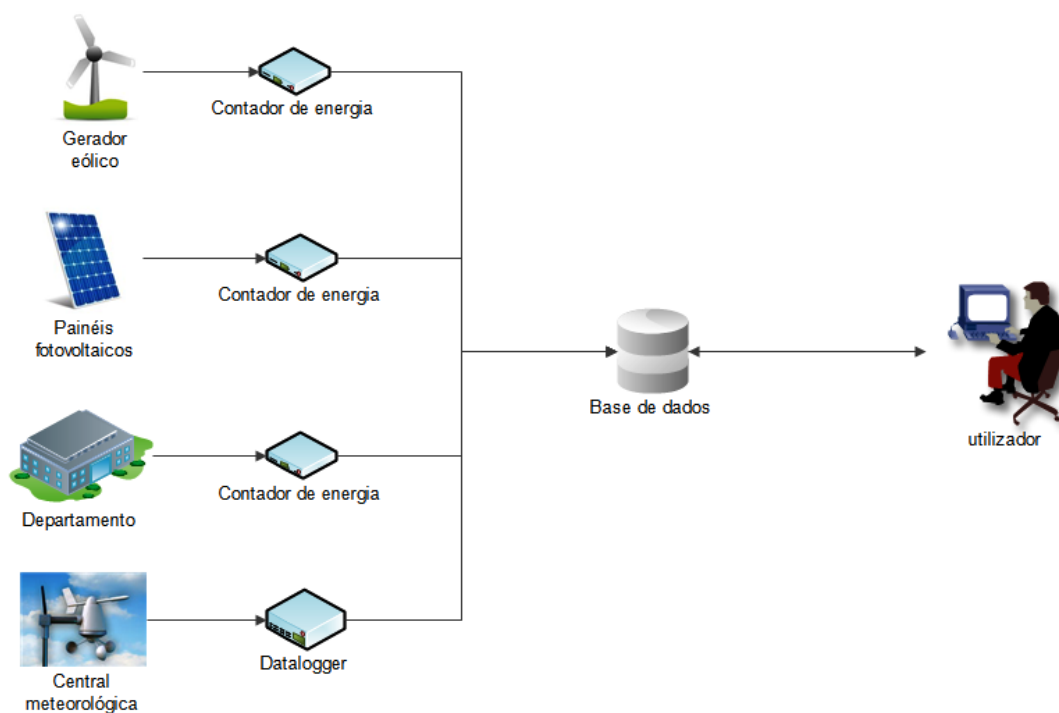


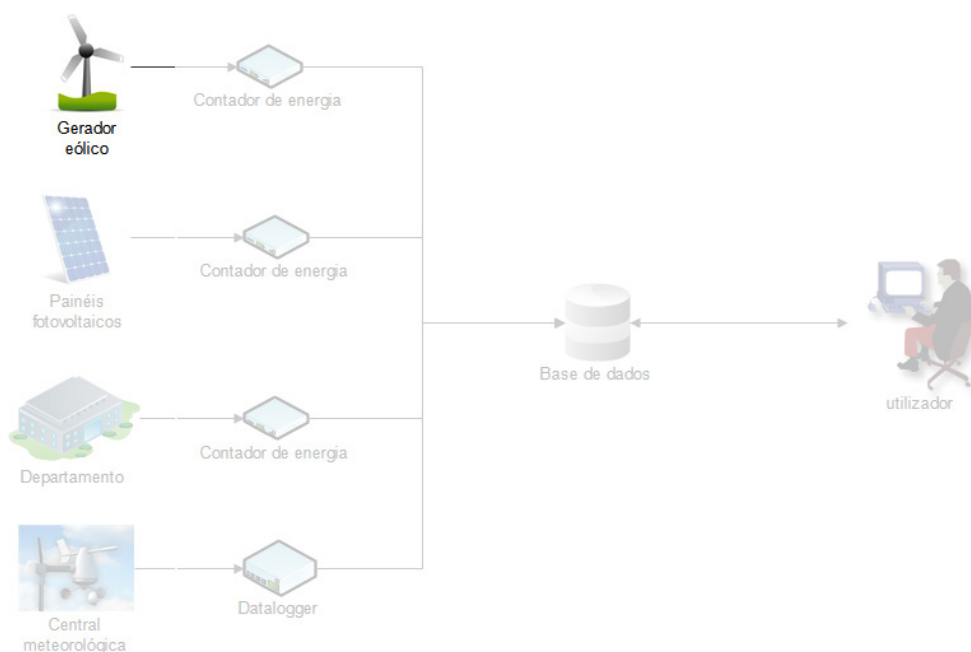
Figura 4.1 – Sistema em detalhe

## 4.2 Gerador eólico

Este sub-capítulo será dedicado ao gerador eólico do sistema (Figura 4.2).

O gerador eólico da dissertação encontra-se instalado no terraço do departamento de engenharia eletrotécnica (DEE) da empresa Yangzhou Shenzhou Wind-Driven Generator Co., Ltd com o modelo FD3.6-2000-10L (Figura 4.3).

O gerador eólico é de seguida ligado a um retificador/inversor de modo a estar apto a ser ligado à rede. Depois do sinal retificado os dados são recolhidos pelo contador de energia presente na cave do departamento (ver 4.5 Contadores).



**Figura 4.2 – Sistema em detalhe – Gerador eólico**



**Figura 4.3 – Gerador eólico**

O gerador eólico segundo o fabricante apresenta as características presentes na Tabela 4.1 e a curva de potência presente na Figura 4.4.

Parâmetro	Valor
Potência nominal (W)	2000
Tensão nominal (V)	120
Diâmetro das pás do rotor (m)	3,2
Velocidade de arranque (m/s)	3,2
Velocidade nominal do vento (m/s)	9
Velocidade de corte (m/s)	16
Rotação nominal das pás (rpm)	400
Material das pás	Fibra de vidro
Número de pás	3
Gerador	Alternador de magnetos permanentes

Tabela 4.1 – Especificações do gerador eólico [4]

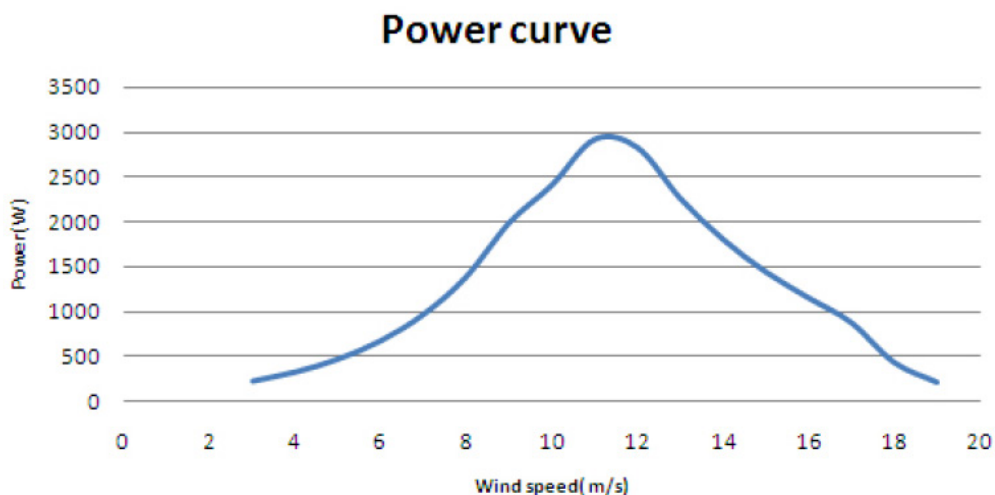


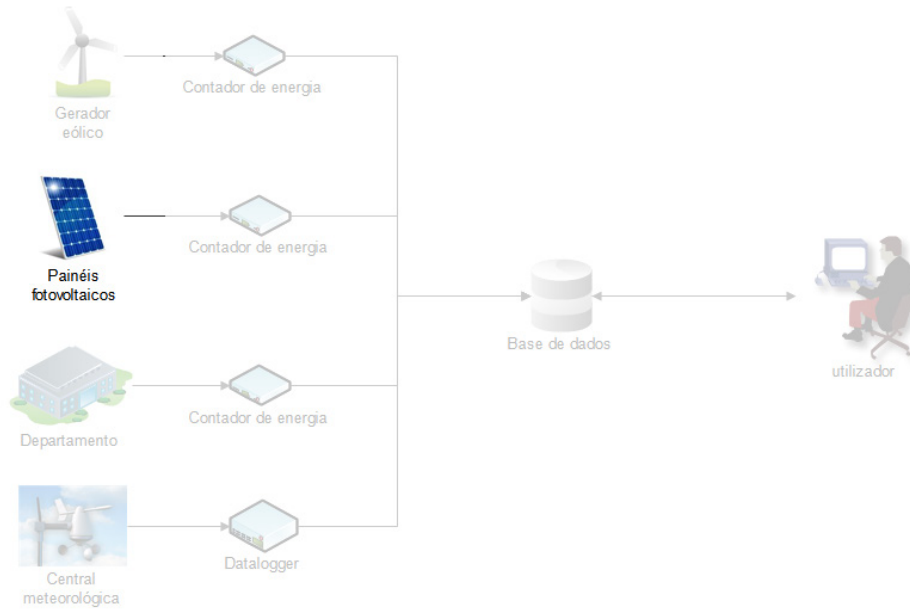
Figura 4.4 – Potência gerada pelo aerogerador em função da velocidade do vento segundo o fabricante

### 4.3 Painéis fotovoltaicos

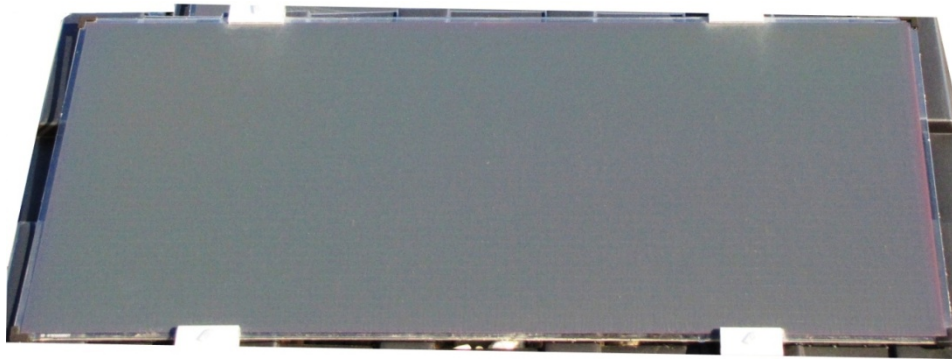
Este sub-capítulo será dedicado aos painéis fotovoltaicos do sistema (Figura 4.5).

No terraço do departamento de engenharia eletrotécnica (DEE) existem 7 painéis fotovoltaicos. Cinco painéis são da empresa Bangkok Solar com o modelo BS 40 (Figura 4.6) e os restantes dois painéis pertencem à empresa SWEA com o modelo SLW 130 (Figura 4.7).

## Capítulo 4 – Implementação



**Figura 4.5 – Sistema em detalhe – painéis fotovoltaicos**



**Figura 4.6 – Painel fotovoltaico modelo BS 40**



**Figura 4.7 – Painel fotovoltaico modelo SLW 130**



**Figura 4.8 – Painéis fotovoltaicos presentes no DEE**

Estes dois modelos foram ensaiados pelos seus fabricantes nas condições STC, como demonstrado na Tabela 4.2.

	<b>Bangkok Solar – BS 40</b>	<b>SWEA – SWL 130</b>
Tipo de célula	Silício amorfo	Silício Policristalino
Potência máxima – $P_{m\acute{a}x}$ (W)	40	130
Tensão à potência máxima – $V_{m\acute{a}x}$ (V)	44,8	40,8
Corrente à potência máxima – $I_{m\acute{a}x}$ (A)	0,93	3,2
Tensão de circuito aberto – $V_{OC}$ (V)	62,2	50,1
Corrente de curto-circuito – $I_{SC}$ (A)	1,14	3,21
Área total ( $m^2$ )	$0,635 \times 1,245 = 0,8$	$1,2 \times 0,99 = 1,2$

**Tabela 4.2 – Características dos painéis fotovoltaicos em condições STC [4]**

A Figura 4.9 mostra a curva I-V dos dois tipos de painéis fotovoltaicos do sistema.

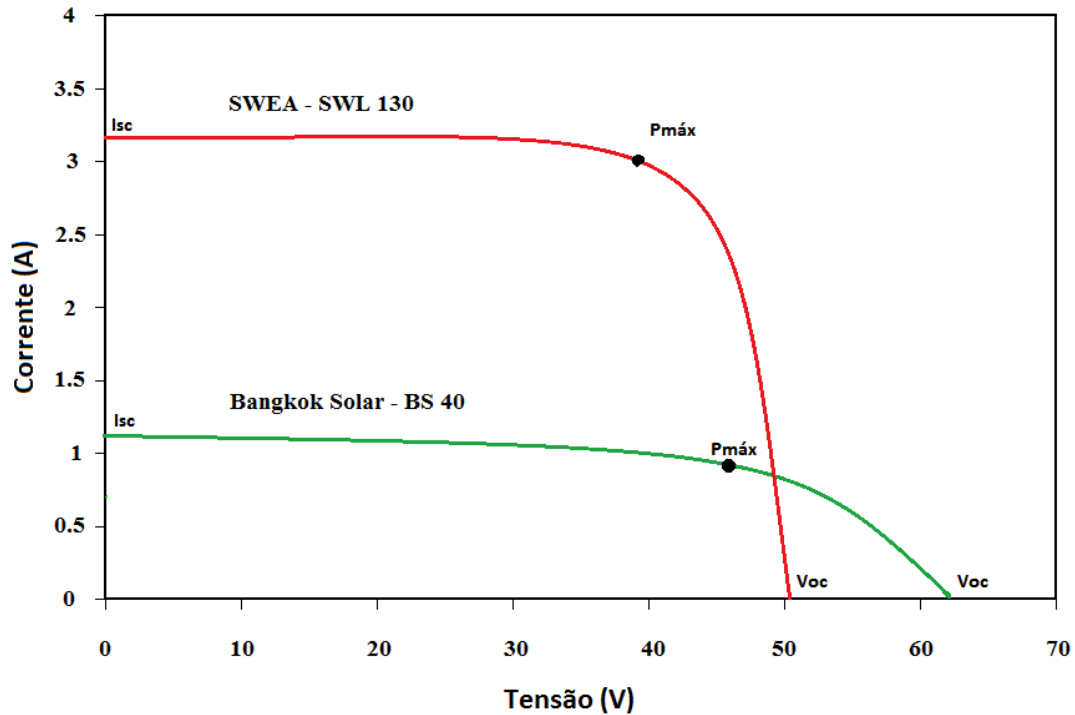


Figura 4.9 - Características I-V dos painéis fotovoltaicos

Juntos os painéis fazem um total de 460 W de potência nominal, estando ligados da seguinte forma:

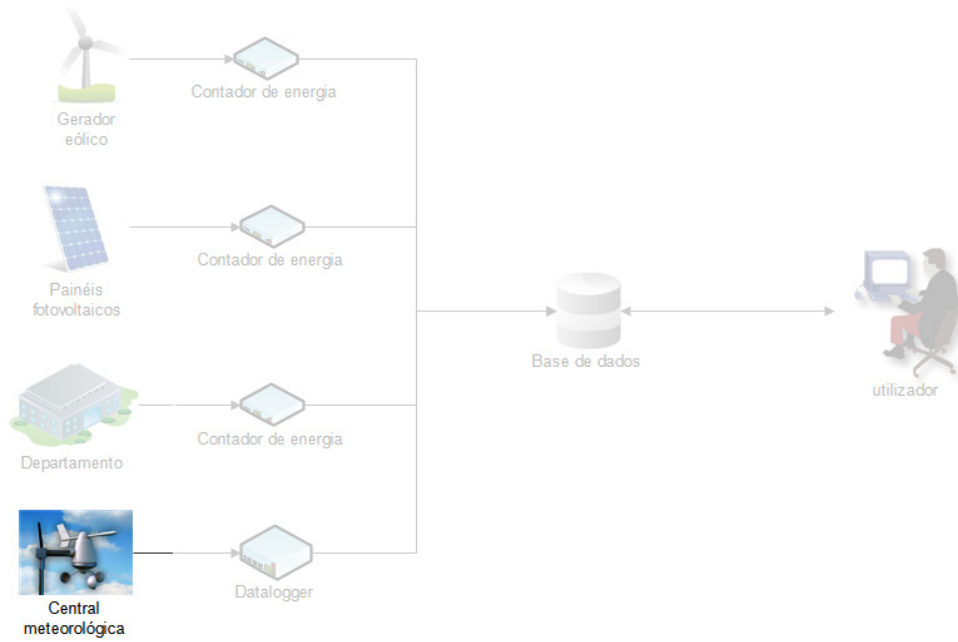
- Dois painéis SWA em paralelo, fazendo 260W.
- Dois painéis Bangkok Solar em paralelo, fazendo 80W.
- Três painéis Bangkok Solar em paralelo, fazendo 120W.

De seguida cada conjunto é ligado a um inversor, depois são ligados em paralelo de forma a serem ligados à rede.

#### 4.4 Central meteorológica

Este sub-capítulo será dedicado à central meteorológica do sistema (Figura 4.10).

A central meteorológica (Figura 4.11) encontra-se instalada no terraço do departamento de engenharia eletrotécnica (DEE) com a capacidade de medir a direção e velocidade do vento, a temperatura e a irradiância.



**Figura 4.10 – Sistema em detalhe – Central meteorológica**



**Figura 4.11 – Central meteorológica instalada no DEE**

#### **4.4.1 Medição da direção e velocidade do vento**

Para medir a direção e velocidade do vento, está instalado na central meteorológica um anemómetro Davis Cup (Figura 4.12).



**Figura 4.12 – Anemómetro Davis Cup**

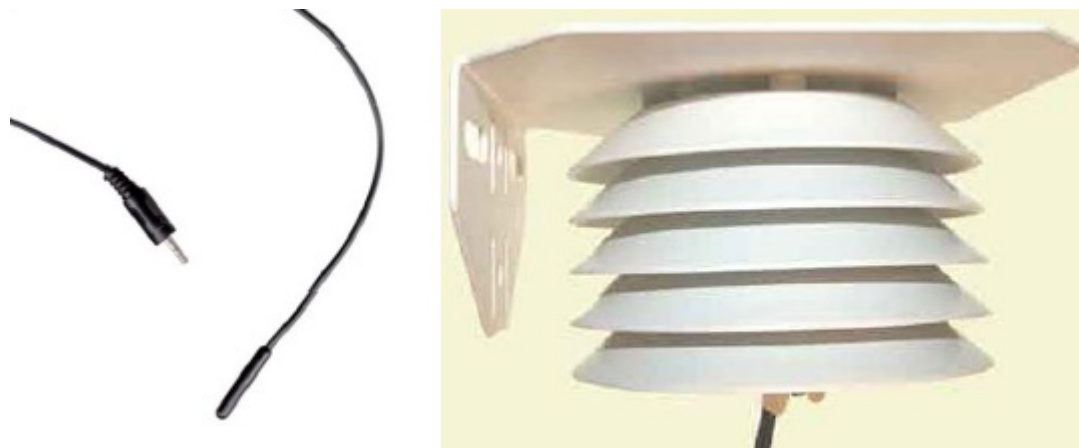
Na Tabela 4.3 são apresentadas as especificações do fabricante do anemómetro.

Especificações Gerais	
Tipo de sensor – Direção do vento	Estabilizador vertical e potenciómetro
Tipo de sensor – Velocidade do vento	Copos/pás rotacionais
Alcance	
Direção do vento	0° - 360°
Velocidade do vento	0 – 58 m/s
Precisão	
Direção do vento	+ - 7 %
Velocidade do vento	+ - 5 %
Resolução	
Direção do vento	1°
Velocidade do vento	0,45 m/s

**Tabela 4.3 – Especificações do anemómetro Davis Cup [4]**

#### 4.4.2 Medição da temperatura

Para medir a temperatura foi usado um termómetro ECT Temperature (Figura 4.13). O termómetro consiste num termistor e está protegido por um escudo de irradiação de modo a melhorar os dados medidos.



**Figura 4.13 – Termómetro ECT Temperature com escudo protetor**

Na Tabela 4.4 são apresentadas as especificações do fabricante do termómetro.

Tipo de sensor	Termístor
Alcance	-40°C a 50°C
Precisão	-20°C a 5°C e de 40°C a 50°C: > +/- 1°C -40°C a -20°C: +/- 1°C 5°C a 40°C: 0,5°C
Resolução	<= 0°C: 0,015°C > 0°C: 0,016°C
Velocidade de medição	10 ms
Condições de operação	-40°C a 50°C
Comprimento do cabo	3 m

**Tabela 4.4 – Especificações do termómetro ECT [4]**

#### 4.4.3 Medição da irradiância

Para medir a irradiância foi usado um piranómetro PYR da empresa Apogee Instruments Inc., modelo SP-110 (Figura 4.14).



**Figura 4.14 – Piranómetro PYR**

O piranómetro consiste num sensor de célula de silício que tem a capacidade de medir a irradiância. Na Tabela 4.5 são apresentadas as especificações do fabricante do piranómetro.

Alcance	0 – 1750 W/m <sup>2</sup>
Precisão	+/- 5 %
Condições de operação	-40°C a 55°C 0 % a 100 % de humidade relativa À prova de água

Tabela 4.5 – Especificações do piranómetro PYR [4]

## 4.5 Contadores

Este sub-capítulo será dedicado aos contadores de energia e *datalogger* do sistema (Figura 4.15).

Existem 3 contadores de energia na cave do departamento de engenharia eletrotécnica (DEE) e um *datalogger* junto à estação meteorológica no terraço do departamento.

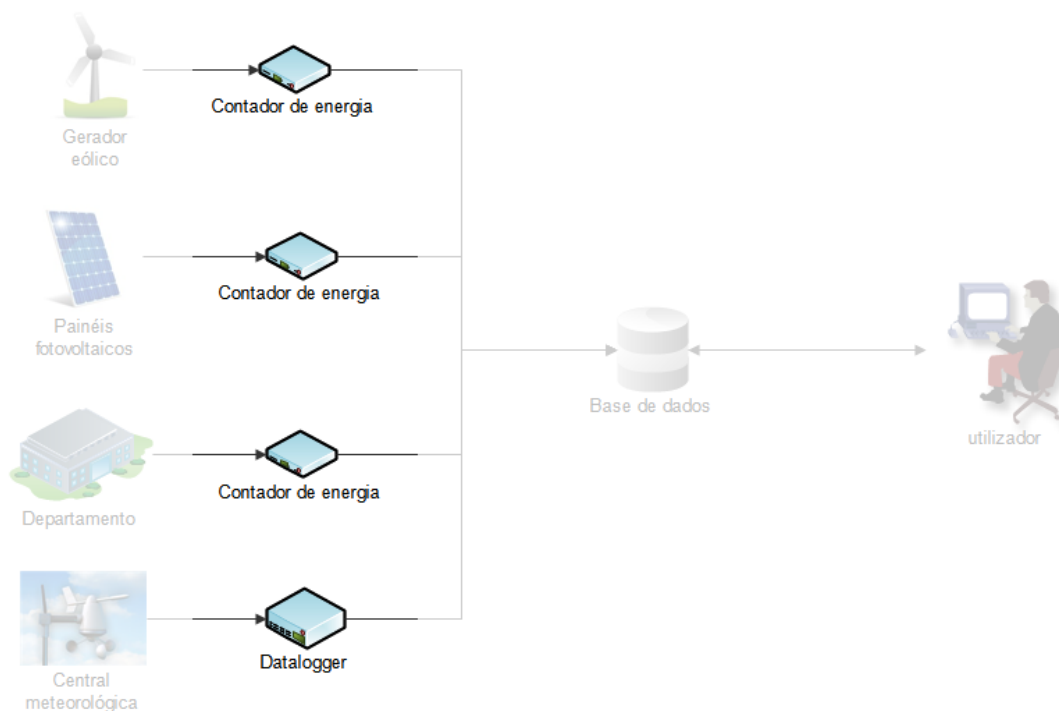


Figura 4.15 – Sistema em detalhe – Contadores de energia e *datalogger*

Para aquisição dos dados dos painéis fotovoltaicos, do gerador eólico e do departamento, foram usados três contadores, um para cada sistema, todos da marca Algodue Electronica, modelo UPT210 (Figura 4.16). Os contadores dos painéis fotovoltaicos e do gerador eólico estão ligados depois dos retificadores/inversores para ler os parâmetros de energia que

são entregues à rede. O contador do departamento está ligado entre o consumo e a rede de forma a saber quais os consumos internos do departamento de engenharia eletrotécnica.



Figura 4.16– Contador de energia UPT210

Para aquisição dos dados da central meteorológica foi instalado um *datalogger* da marca Decagon Devices, modelo Em50 (Figura 4.17). O *datalogger* para além de enviar os dados pretendidos para a base de dados também os pode guardar já que possui uma memória interna.



Figura 4.17 – Datalogger Em50

Na Tabela 4.6, pode-se ver quais são os dados recolhidos pelos três contadores de energia e pelo *datalogger* que depois são inseridos na base de dados.

<b>Dados dos contadores de energia UPT210</b>	<b>Dados do datalogger EM50</b>
Tensão (V)	Direção do vento (°)
Corrente (A)	Velocidade média do vento (m/s)
Potência ativa (W)	Rajadas de vento (m/s)
Potência reativa (var)	Temperatura (°C)
Potência aparente (VA)	Irradiância (W/m <sup>2</sup> )
Fator de potência	

**Tabela 4.6 – Dados recebidos pelos contadores de energia e datalogger**

## 4.6 Base de dados

Este sub-capítulo será dedicado à base de dados do sistema (Figura 4.19).

A base de dados é uma parte importante no sistema de monitorização desenvolvido. É na base de dados do sistema que é armazenada toda a informação relacionada com os painéis fotovoltaicos, o gerador eólico, os consumos de energia elétrica do departamento e os dados meteorológicos que estão a ser monitorizados.

Pode-se desenvolver a base de dados em diversos sistemas. Como se pretende usar uma interface web em HTML/PHP usou-se o sistema MySQL.

O sistema MySQL é um sistema open source de controlo de base de dados que usa a linguagem SQL (Structured Query Language) como interface. É atualmente usada por milhões de pessoas e que graças a isso dispõe de uma comunidade online que facilita a resolução de problemas a quem desenvolve bases de dados neste sistema [12].

O sistema MySQL tem um sistema de administração phpMyAdmin (Figura 4.18) que permite gerir toda a base de dados online sem necessitar de instalar qualquer tipo de software, permite ainda importar dados em formato SQL, SCV, XML e TXT. Também permite exportar as tabelas criadas em diversos formatos, entre os mais fáceis de visualizar, encontram-se o CSV para Excel, Word e PDF [13].

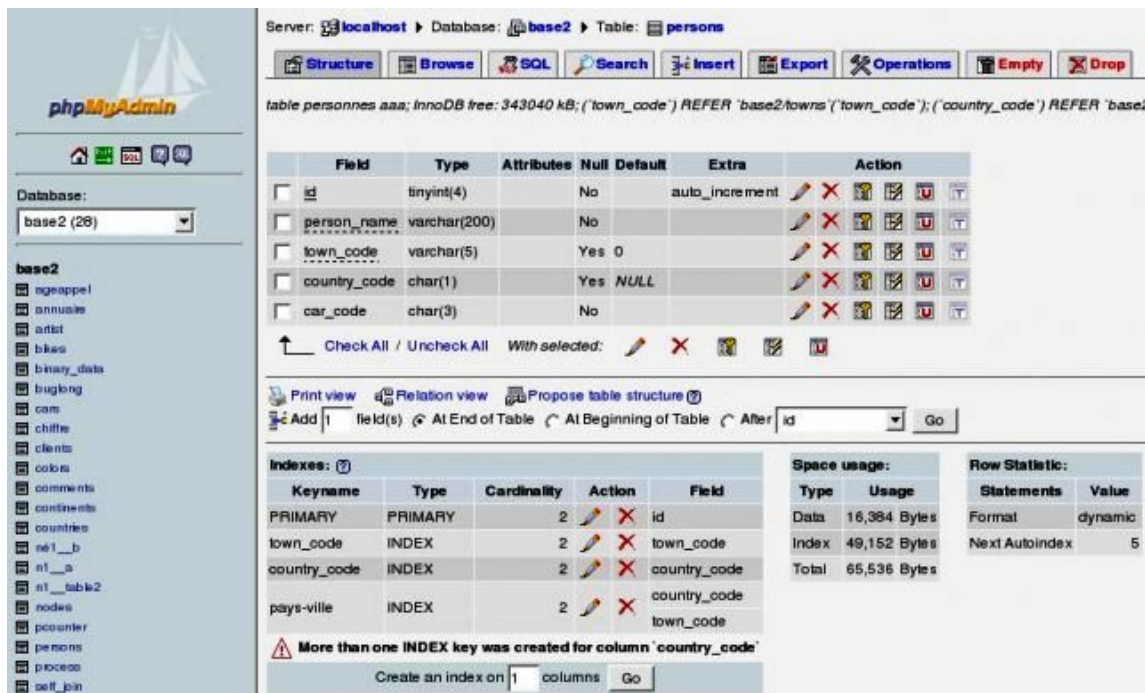


Figura 4.18 – Sistema phpMyAdmin  
(Fonte: www.phpmyadmin.com)

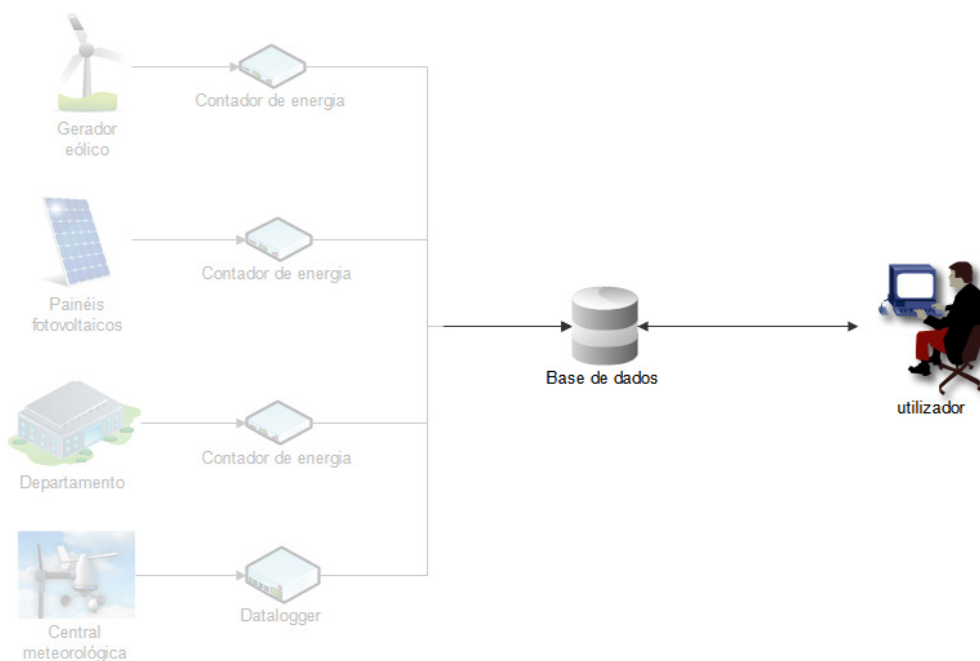


Figura 4.19– Sistema em detalhe - interface do utilizador

Para o armazenamento dos dados anteriormente recolhidos foram criadas cinco base de dados:

- Gerador eólico.
- Painéis fotovoltaicos.
- Central meteorológica.
- Departamento.
- Auxiliar.

## Capítulo 4 – Implementação

As bases de dados do gerador eólico, painéis fotovoltaicos e central meteorológica têm a mesma base, recebendo os valores da tensão, corrente, fator de potência e as várias potências (ativa, reativa e aparente) do contador de energia respectivo como se pode ver na Figura 4.20.

id	time	voltage	current	active_power	power_factor	reactive_power	apparent_power
3	00:00:07	236.690	43.200	26909.280	0.930	3289.600	10268.320
4	00:01:07	235.450	43.200	26698.560	0.930	3160.960	10219.520
5	00:02:07	235.180	43.840	26725.920	0.930	3207.200	10277.760
6	00:03:07	236.210	51.360	28761.440	0.950	3287.040	12058.720
7	00:04:07	236.000	43.360	26759.520	0.930	3218.880	10244.000
8	00:05:07	235.260	46.080	29389.120	0.920	3736.000	10844.480
9	00:06:07	235.350	46.560	27269.440	0.930	3784.960	10864.960
10	00:07:07	235.260	46.400	27408.160	0.930	3720.160	10847.520
11	00:08:07	234.940	49.440	27496.160	0.920	3727.040	11242.560
12	00:09:07	235.350	44.640	26983.040	0.920	3280.320	10509.760
13	00:10:07	235.530	44.000	26981.120	0.940	3117.600	10372.960
14	00:11:07	235.670	43.840	29010.560	0.940	3146.880	10348.640
15	00:12:07	235.120	43.520	26766.400	0.930	3096.000	10203.360
16	00:13:07	235.090	43.200	26872.480	0.940	3103.200	10218.080
17	00:14:07	235.330	43.200	26812.960	0.930	3128.000	10177.280
18	00:15:07	235.640	43.840	26890.400	0.930	3141.600	10345.600
19	00:16:07	235.620	49.600	28734.400	0.970	3205.920	11665.120
20	00:17:07	235.680	43.040	28986.880	0.930	3116.640	10217.760

**Figura 4.20 – Base de dados do departamento**

A base de dados da estação meteorológica recebe do datalogger os valores da direção do vento, velocidade do vento, temperatura e irradiância, como se pode ver na Figura 4.21.

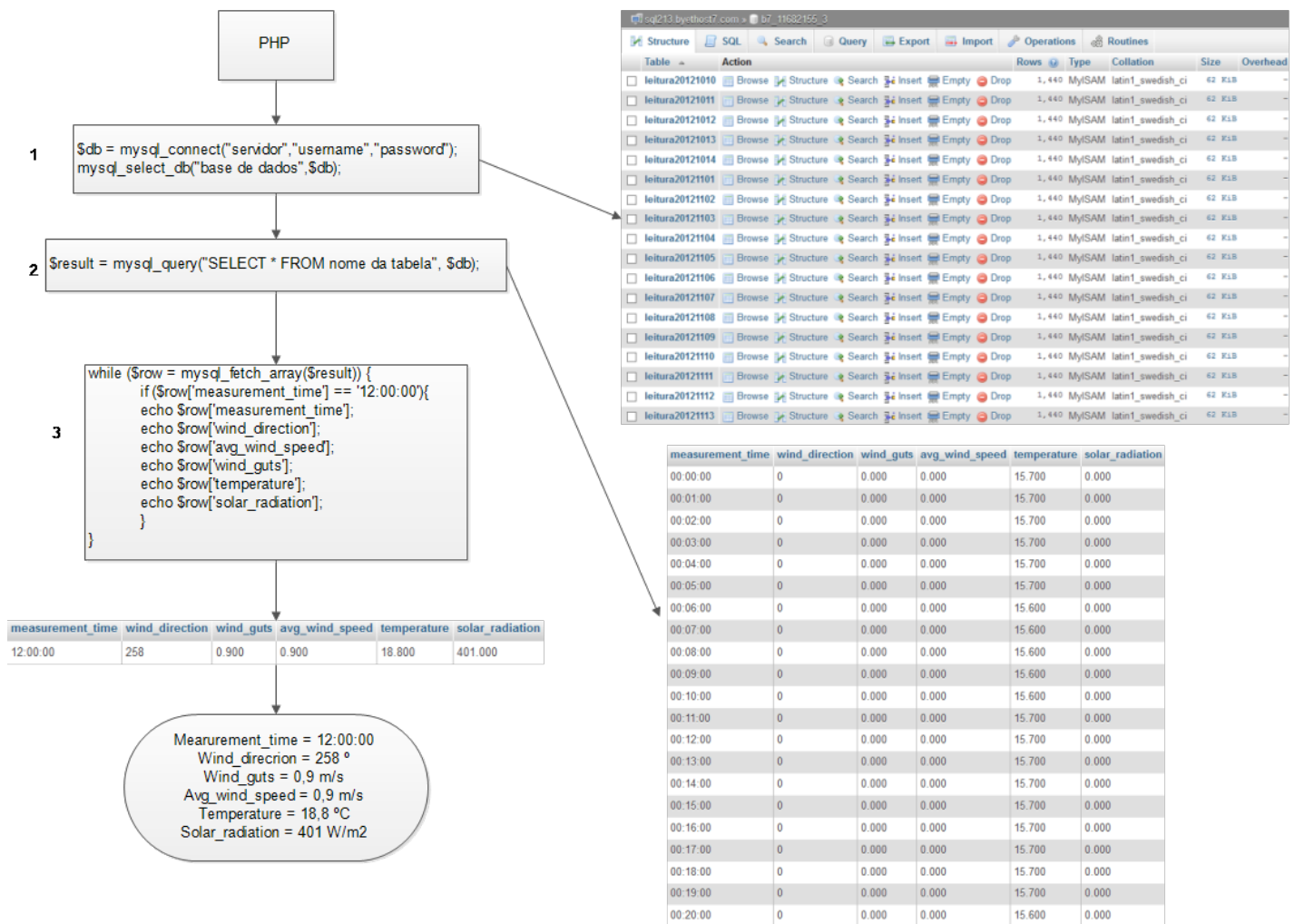
id	measurement_time	wind_direction	wind_guts	avg_wind_speed	temperature	solar_radiation
1	00:00:00	268	0.100	0.100	18.800	0.000
2	00:01:00	268	0.500	0.500	18.800	0.000
3	00:02:00	268	0.000	0.000	18.800	0.000
4	00:03:00	268	0.400	0.400	18.700	0.000
5	00:04:00	268	0.700	0.700	18.800	0.000
6	00:05:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
7	00:06:00	268	0.000	0.000	18.700	0.000
8	00:07:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
9	00:08:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
10	00:09:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
11	00:10:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
12	00:11:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
13	00:12:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
14	00:13:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
15	00:14:00	0	0.000	0.000	18.700	0.000
16	00:15:00	268	0.100	0.100	18.700	0.000
17	00:16:00	268	0.600	0.600	18.700	0.000
18	00:17:00	268	0.200	0.200	18.700	0.000

**Figura 4.21 – Base de dados da central meteorológica**

Nas bases de dados anteriormente descritas é criada uma tabela para cada dia. No fim de cada dia, cada tabela tem 1440 linhas de informação que correspondem aos dados recolhidos minuto a minuto sem usar qualquer média.

A base de dados auxiliar foi criada para contar o número de visitantes e para guardar informação de que dias o utilizador pretende visualizar (Figura 4.22).

## Capítulo 4 – Implementação



**Figura 4.22 – Diagrama da conexão à base de dados da central meteorológica**

A Figura 4.22 mostra um exemplo de como é feita a conexão a uma base de dados, neste caso à da central meteorológica.

- 1- É feita a conexão à base de dados, inserindo o servidor, username e password. Depois de se ter entrado no servidor é colocado o nome da base de dados para se fazer a respetiva conexão.
- 2- Com este comando seleciona-se a tabela pretendida da base de dados guardada em \$db, colocando todos os valores na variável \$result
- 3- É realizado uma verificação a todas as linhas da tabela escolhida que está guardada em \$row. Quando encontrar o valor 12:00:00: em measurement\_time, é mostrado o valor dos restantes medidores para a mesma hora.

## 4.7 Interface utilizador

Foi desenvolvida uma interface gráfica em ambiente web que possa ser acedida por qualquer dispositivo que tenha acesso à internet. Foi desenvolvida de modo a que o utilizador não precise de ter nenhum conhecimento de programação para poder realizar uma procura exhaustiva do que deseja.

A interface foi implementada em três formatos, HTML, PHP e JavaScript.

A interface gráfica foi desenvolvida em HTML (HyperText Markup Language) que é utilizada para construir páginas na internet. Foi usada para o design da página, colocação de texto, fotos, etc. A interface em PHP (Hypertext Preprocessor) foi utilizada para fazer a ligação entre a base de dados e a interface gráfica. O JavaScript foi usado na apresentação de gráficos com os dados da base de dados [14].

Os gráficos foram criados a partir dos modelos disponibilizados gratuitamente pela empresa Amcharts como se pode ver alguns exemplos na Figura 4.23.

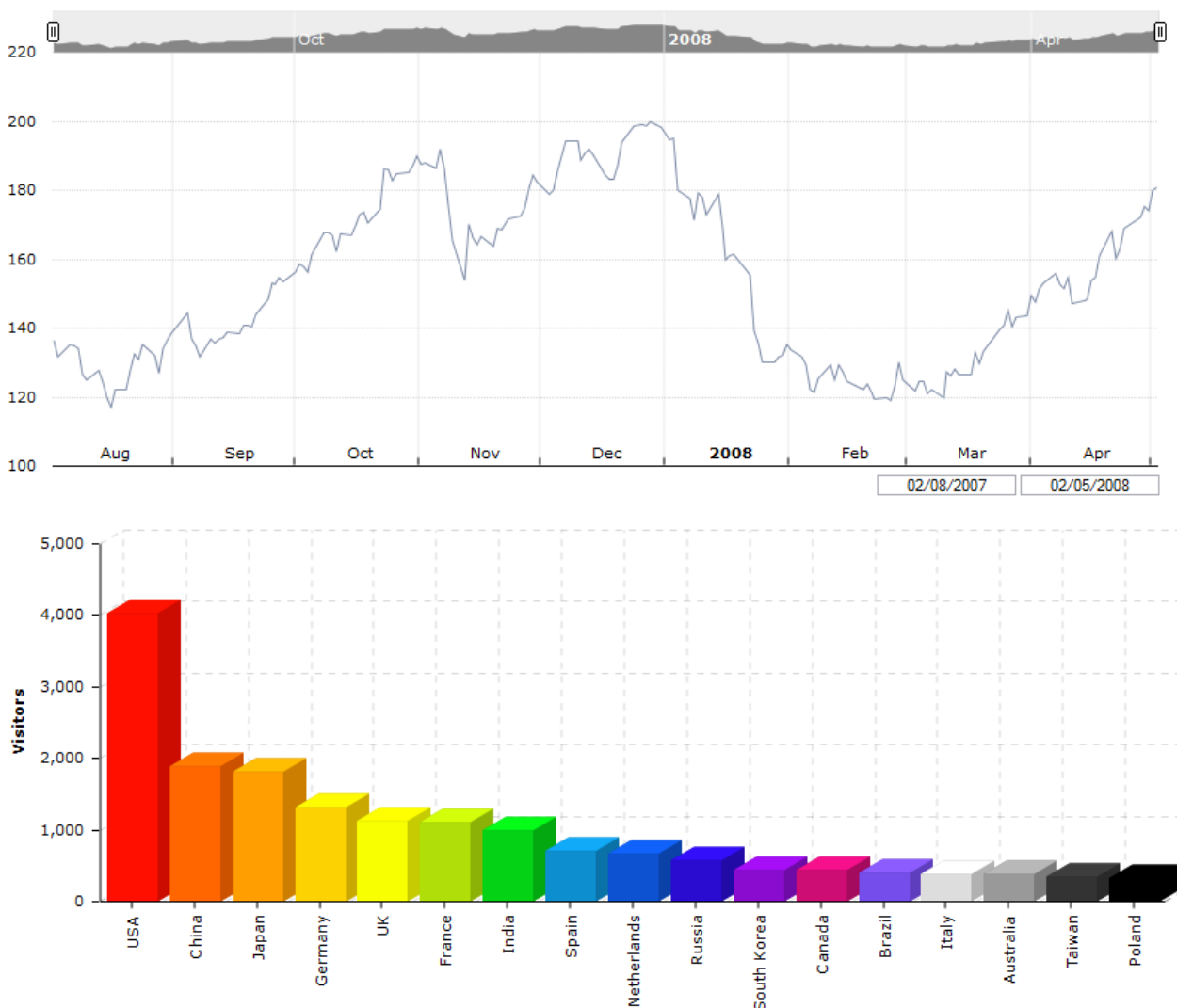


Figura 4.23 – Exemplo de um gráfico da amcharts  
(Fonte: [www.amcharts.com](http://www.amcharts.com))

De forma a que o utilizador pudesse a partir da internet aceder a todos os dados anteriormente recolhidos, foi criado um site que possibilita a visualização dos dados de todos os contadores de energia e do datalogger em forma de gráfico ou exportando para o Excel.

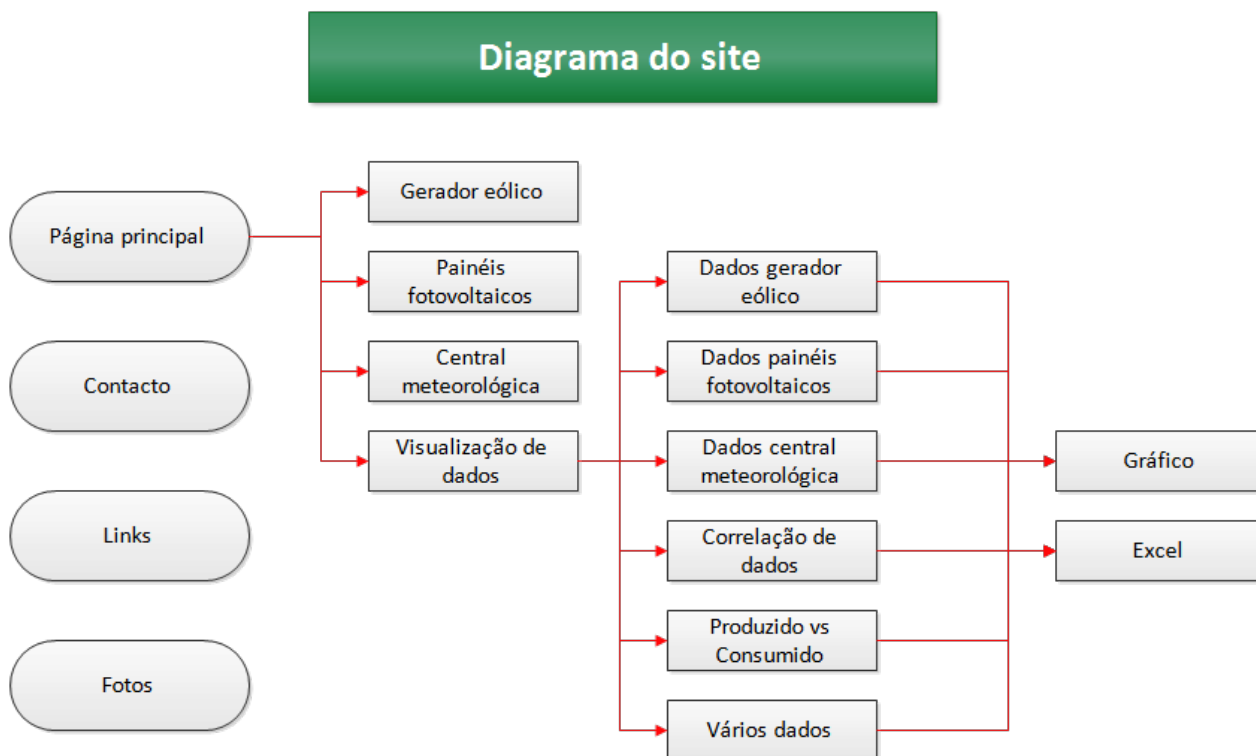
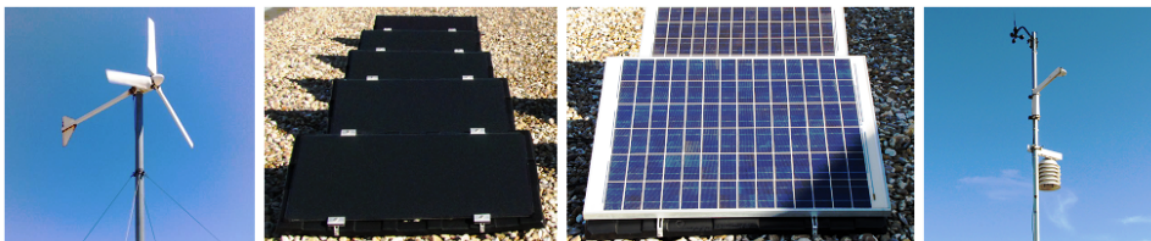


Figura 4.24 – Diagrama do site

A Figura 4.24 mostra o diagrama do site onde se poderá visualizar quais as páginas disponíveis no mesmo.

Na página principal (Figura 4.25) é mostrado um pequeno resumo do site e onde se poderá visualizar o que se pretende. São também mostrados os últimos dados recolhidos pelos contadores de energia e datalogger presentes nas respetivas base de dados. Desses dados são mostrados os valores da potência ativa do gerador eólico e dos painéis fotovoltaicos bem como os dados da direção e velocidade do vento, temperatura e irradiância da central meteorológica. Do lado direito destes dados, de forma a comparar os dados recolhidos e a sua precisão face a outros dados, encontra-se uma imagem com os últimos dados meteorológicos do site AccuWeather na zona da Caparica.



Página principal

Gerador eólico

Painéis fotovoltaicos

Central meteorológica

Visualização de dados

Visitante Nº: 236

### Energias Renováveis - FCT / DEE

Este site irá permitir acompanhar os dados recolhidos pela central meteorológica e da produção de eletricidade a partir dos painéis fotovoltaicos e do gerador eólico presente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O objectivo será poder observar a evolução ao longo do dia, partilhando a informação com outros microprodutores ou simplesmente curiosos da área.

No menu do lado esquerdo, encontram-se 4 separadores de onde poderá ver desde os equipamentos instalados até à visualização dos dados recolhidos

- Gerador eólico;
- Painéis fotovoltaicos;
- Central meteorológica;
- Visualização dos dados

Para que possa ter a percepção de todos os sistemas envolvidos neste site, ficam algumas fotos na página "Fotos".

Sugestões serão bem-vindas, faça-as chegar através da página "Contacto".

Caso queira aprender mais sobre os assuntos, pode encontrar isso na página "Links".

Dados em tempo real:

<b>Potência do Gerador eólico</b>	0.000 W
<b>Potência dos Painéis fotovoltaicos</b>	1.370 W
<b>Consumo do departamento</b>	33425.440 W
<b>Direção do vento</b>	N - 0°
<b>Velocidade do vento</b>	0.000 m/s
<b>Temperatura</b>	11.000 °C
<b>Radiação Solar</b>	0.000 W/m2

[\[Fotos\]](#) [\[Contacto\]](#) [\[Links\]](#)

Figura 4.25 – Página principal do site

Para além da página principal, o site está dividido em mais sete zonas para facilitar a navegação e visualização dos dados pretendidos.

Do lado esquerdo, encontra-se um menu com quatro opções:

- Gerador eólico.
- Painéis fotovoltaicos.
- Central meteorológica.
- Visualização de dados.

## Capítulo 4 – Implementação

Na página do gerador eólico é apresentado um pequeno resumo de como a energia eólica é formada e quais as características do gerador eólico presente no departamento.

Na página dos painéis fotovoltaicos é descrito o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, quantos são e quais as suas características.

Na página da central meteorológica são descritos os equipamentos que compõem a central meteorológica e de forma resumida o seu alcance e precisão.

Na página de visualização de dados têm-se seis hipóteses de escolha.

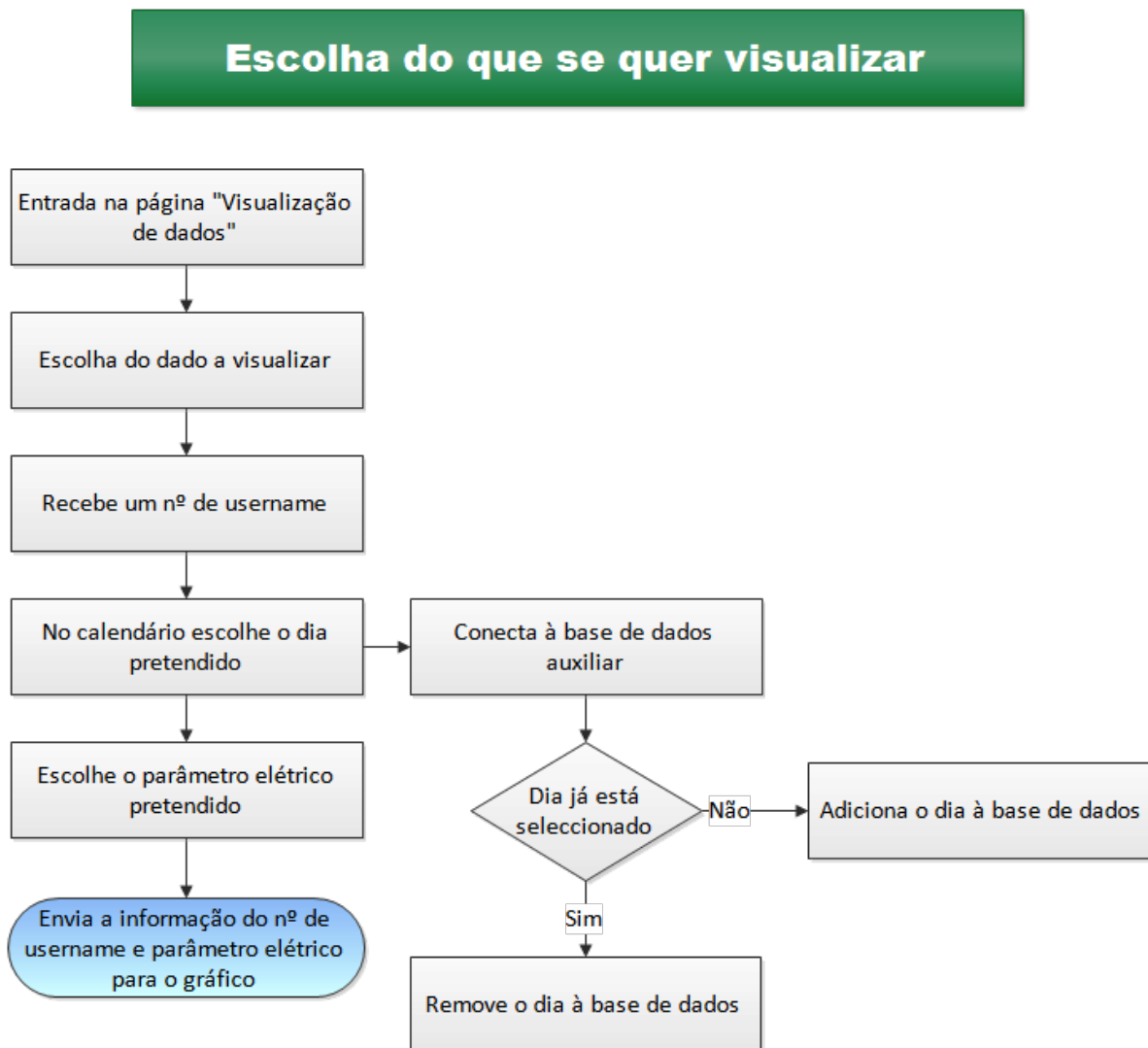
- Dados do gerador eólico.
- Dados dos painéis fotovoltaicos.
- Dados da central meteorológica.
- Correlação de dados.
- Produzido vs. Consumido.
- Vários dados.

Todos as páginas dos dados (exceto correlação) mostram quais os parâmetros elétricos e/ou os dados da central meteorológica que se pode visualizar. É mostrado um calendário (Figura 4.26) em que o utilizador poderá selecionar o dia ou dias a visualizar. O calendário também permite desselecionar os dias escolhidos. A vermelho é colocado os dias em que existem dados. Ao selecionar o dia a cor passa para azul e é informado, por cima do calendário, que o dia foi adicionado ou removido da visualização.



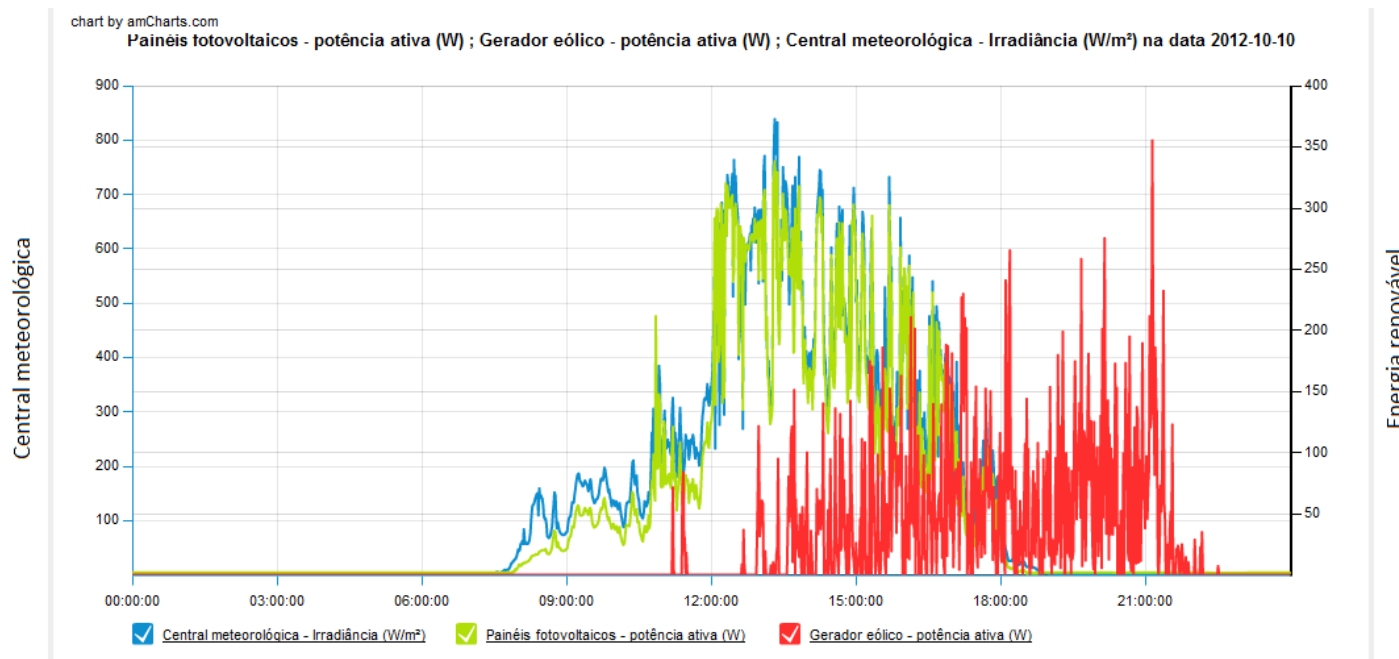
Figura 4.26 – Calendário para a escolha do(s) dia(s)

Todo este processo de seleção do parâmetro elétrico e escolha do(s) dia(s) poderá ser visualizado na Figura 4.27.



**Figura 4.27- Diagrama da escolha do dado e dia a visualizar**

Depois de escolhido o dia ou dias a visualizar e o parâmetro elétrico e/ou o dado da central meteorológica pretendido, é mostrado o gráfico como se pode ver na Figura 4.28. A figura representa um exemplo do dia 10 de Outubro de 2012, para a potência elétrica ativa do gerador eólico e dos painéis fotovoltaicos e também da irradiância medida pela central meteorológica.



**Figura 4.28 – Gráfico de vários dados do dia 10 de Outubro de 2012**

Devido à limitação do Amcharts para a criação de mais do que duas escalas os dados do gerador eólico e dos painéis fotovoltaicos foram colocados na mesma escala deixando os dados da central meteorológica numa escala à parte.

Esta limitação só é notada na visualização dos três dados ao mesmo tempo presentes na página “Vários dados”, mas podendo ser possível a remoção de qualquer dos dados, bastando para isso clicar em cima do quadrado com um V na legenda. Ao clicar no quadrado pretendido é retirado o visto e a escala é automaticamente adaptada para a situação em questão.

O código implementado para a criação do gráfico pode ser visualizado na Figura 4.29 em forma de diagrama de blocos.

# Criação de Gráfico

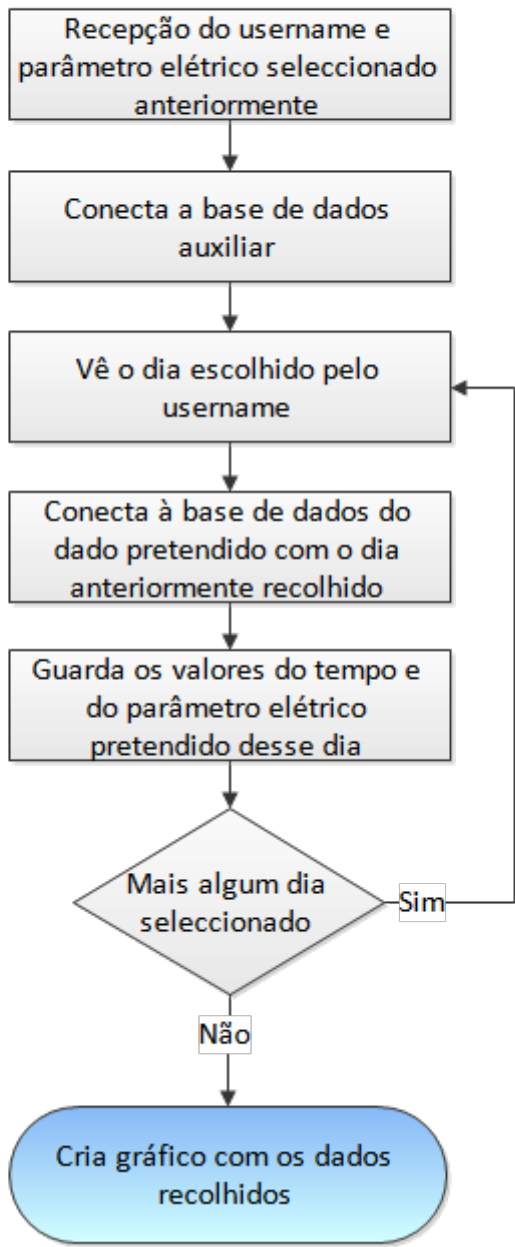


Figura 4.29 – Diagrama criação de gráfico

Por baixo do gráfico são descritas as funcionalidades do mesmo e o que ele permite fazer. Pode-se com o rato seleccionar uma zona específica e ver com mais pormenor (zoom) e depois se quiser voltar ao estado normal basta clicar no canto superior direito do gráfico. É também apresentado o valor máximo, mínimo e médio de todos os dados recolhidos. No final é dado a escolha de o utilizador passar todos os dados que está a visualizar para uma folha Excel (Figura 4.30) onde poderá processa-los.

	A	B	C	D
775	Time	Photovoltaic Panel - Active Power (W)	Wind Generator - Active Power (W)	Meteorological Center - Solar Radiation (W/m2)
776				
777	12:55:00	274.670	0.000	611.600
778	12:56:00	276.250	0.000	635.400
779	12:57:00	284.040	44.000	653.700
780	12:58:00	288.620	76.530	670.200
781	12:59:00	241.480	121.830	536.500
782	13:00:00	288.730	31.860	672.000
783	13:01:00	285.120	39.740	651.900
784	13:02:00	290.080	42.850	672.000
785	13:03:00	282.600	60.770	653.700
786	13:04:00	242.290	58.170	540.200
787	13:05:00	308.920	0.000	739.700
788	13:06:00	314.950	0.000	770.900
789	13:07:00	286.480	19.430	661.000
790	13:08:00	192.850	0.000	466.900
791	13:09:00	210.790	0.000	423.000
792	13:10:00	164.290	0.000	395.500
793	13:11:00	158.740	0.000	393.700
794	13:12:00	141.370	0.000	346.100
795	13:13:00	123.200	0.000	313.100
796	13:14:00	125.720	7.960	318.600
797	13:15:00	131.200	0.000	331.400
798	13:16:00	140.710	0.000	353.400
799	13:17:00	318.770	10.310	706.800

Figura 4.30 – Dados exportados para o Excel

Para a correlação, a forma de seleccionar o(s) dia(s) é igual aos outros dados só que neste caso não é escolhido qual o parâmetro elétrico a visualizar. Depois de seleccionar o(s) dia(s) pretendido(s) é apresentado um gráfico (Figura 4.31) onde se mostra quão dependente é a potência elétrica do gerador eólico e dos painéis fotovoltaicos com a velocidade do vento, temperatura e irradiância.

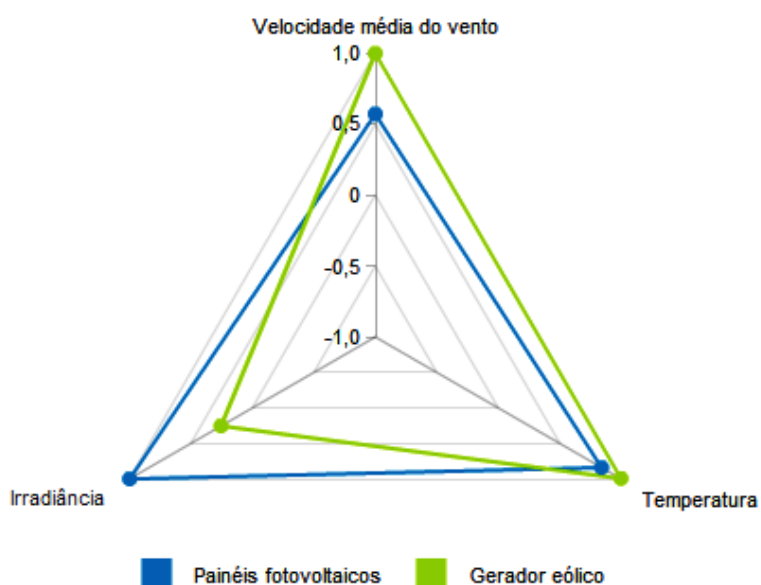


Figura 4.31 – Gráfico da correlação no dia 10 de Outubro de 2012

## Capítulo 4 – Implementação

O uso da correlação é dado a uma relação entre duas ou mais variáveis. Na estatística, a palavra correlação refere-se ao relacionamento entre duas variáveis. A intensidade da associação linear existente entre as variáveis pode ser qualificada através do chamado coeficiente de correlação linear de Pearson.

Um aspeto importante da correlação é quão forte ela é. A força da correlação é medida pelo coeficiente de correlação  $r$ .

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Onde,  $x_i$  e  $y_i$  representa o valor das variáveis no instante  $i$  e  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  representam o valor médio de cada variável.

<b>Coefficiente de correlação</b>	<b>Correlação</b>
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
$r = 0$	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = 0$	Perfeita negativa

**Tabela 4.7 – Coeficiente de correlação [21]**

No Produzido vs. Consumido é feita a comparação entre os dados que dizem respeito à energia enviada para a rede com origem renovável com os dados do consumo realizados pelo departamento de forma a se ter uma ideia do impacto que as energias renováveis presentes no departamento têm face aos consumos do mesmo.

A página Contacto serve para o utilizador entrar em contacto com o criador do site de modo a colocar alguma questão, dar uma sugestão ou reclamação. É inserido o nome da pessoa, o email para se poder responder, o título do assunto e a mensagem. Depois de enviada recebe uma confirmação se a mensagem foi enviada ou não.

A página fotos serve para se ter a perceção do material de todo o sistema instalado no departamento de engenharia eletrotécnica com fotografias de todos os materiais utilizados.

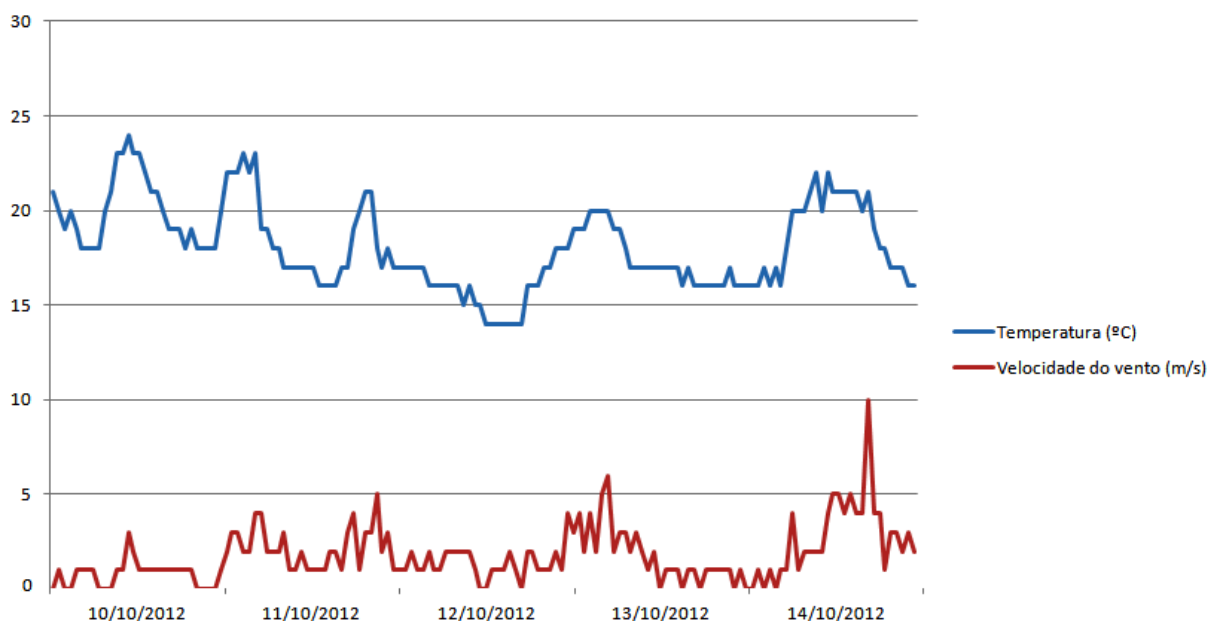
A página links é onde estão alguns links/livros que completam a informação presente no site.



## Capítulo 5 – Resultados obtidos

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais em forma de gráfico do gerador eólico, painéis fotovoltaicos, consumo do departamento, dados da central meteorológica e por fim a correlação dos dados do site durante cinco dias seguidos (10 de Outubro de 2012 a 14 de Outubro de 2012).

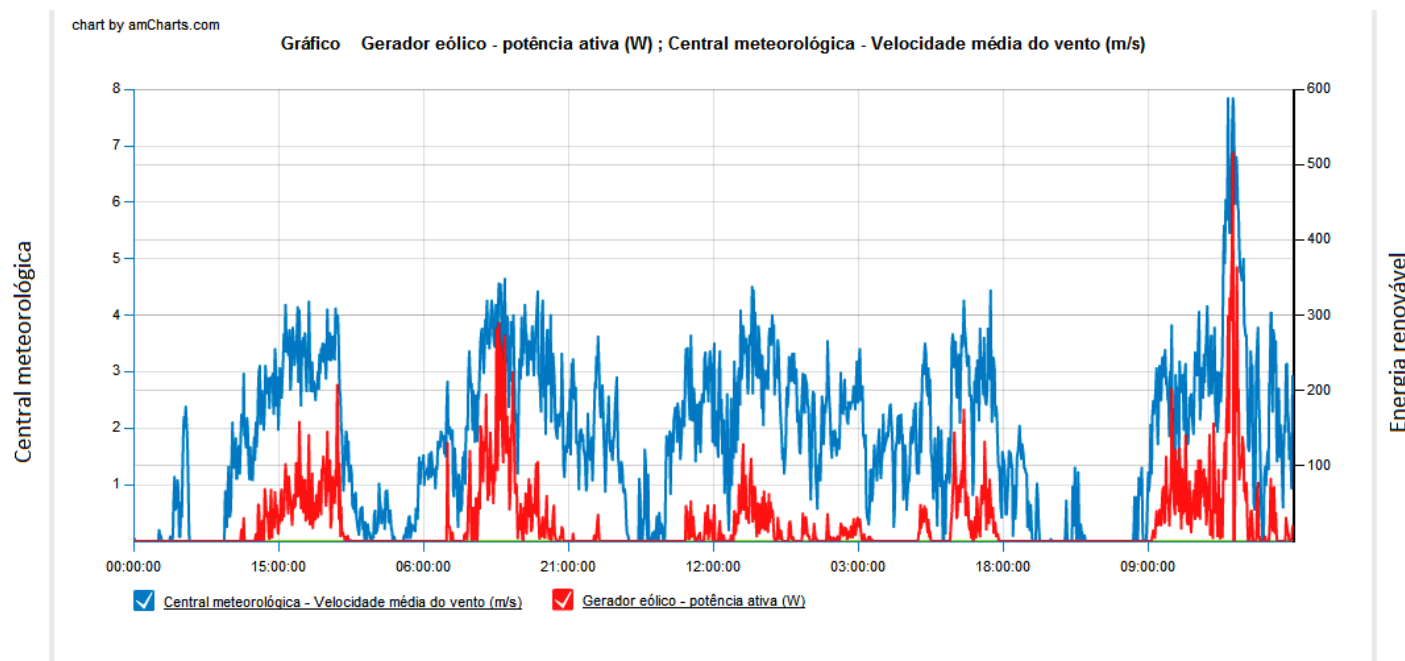
A Figura 5.1 mostra a velocidade do vento e a temperatura registadas na Costa da Caparica nos dias pretendidos:



**Figura 5.1 – Estado do tempo na Costa da Caparica, na data selecionada**

Como se pode constatar na Figura 5.1, a temperatura varia nestes cinco dias entre os 14 °C e os 24 °C, o que não permite visualizar a diminuição do rendimento dos painéis devido ao elevado aumento de temperatura. O vento esteve fraco, a variar entre o 0 m/s e um pico a 10 m/s mas com grande parte da velocidade a encontrar-se abaixo dos 5 m/s. Estas foram as condições medidas por uma central meteorológica na Costa da Caparica. Serão agora apresentados os dados recolhidos pelos sensores e contadores de energia presentes no departamento de engenharia eletrotécnica.

## 5.1 Potência das renováveis face às variações meteorológicas



**Figura 5.2 – Velocidade média do vento e da potência elétrica do gerador eólico**

Na Figura 5.2 pode-se verificar a azul a velocidade do vento e a vermelho a potência ativa de saída no gerador eólico. A potência do gerador eólico acompanha quase sempre a subida da velocidade média do vento. Não acompanha sempre, porque o gerador tem uma velocidade mínima de arranque de 3,2 m/s. Como se pode ver, durante o período da madrugada onde o vento é inferior a 2 m/s, o gerador nessa altura não está a injetar potência na rede. Pode-se constatar que o gerador nunca conseguiu no período em análise chegar à sua potência nominal, isto porque o gerador a atinge à velocidade do vento de 11 m/s, o que não se verificou no tempo em análise.

## Capítulo 5 – Resultados obtidos

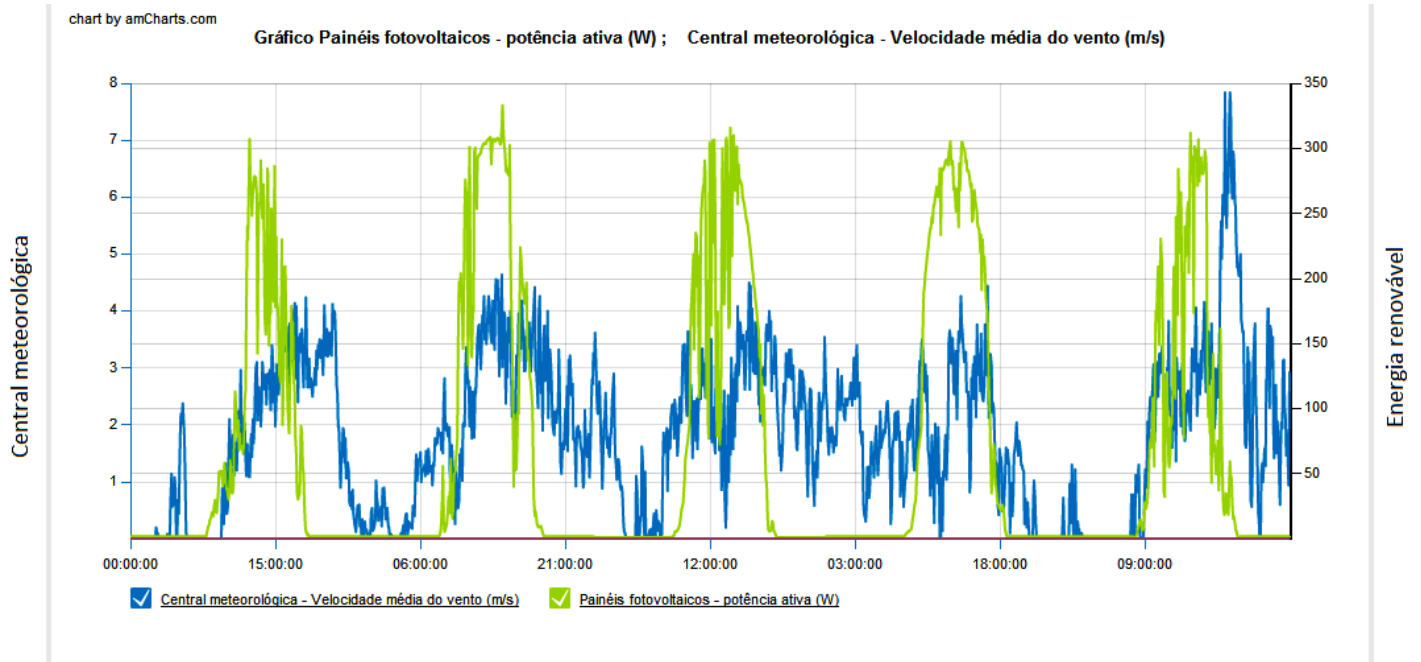


Figura 5.3 – Velocidade média do vento e da potência dos painéis fotovoltaicos

Como se pode visualizar na Figura 5.3 a potência dos painéis não se altera cada vez que existe uma variação da velocidade do vento. Pode ajudar ao aumento do rendimento dos painéis já que ajuda a arrefecer os mesmos, mas é algo difícil de verificar com os dados obtidos.

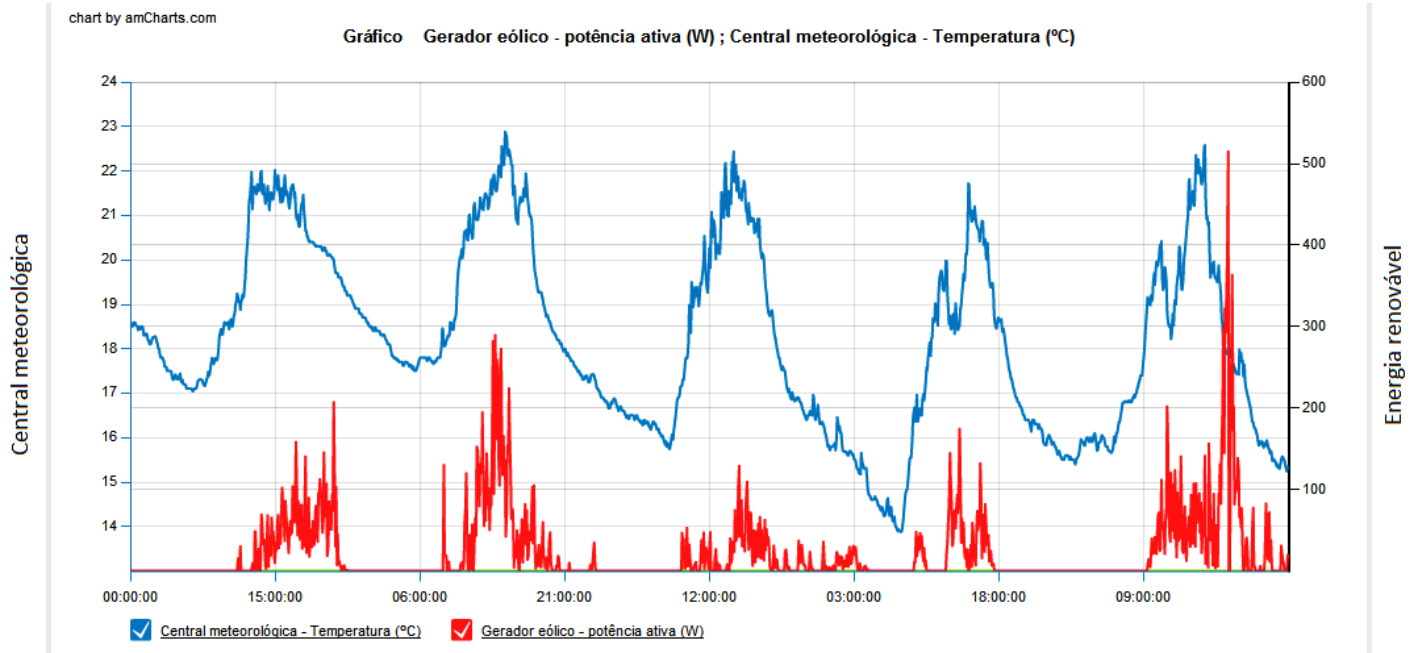
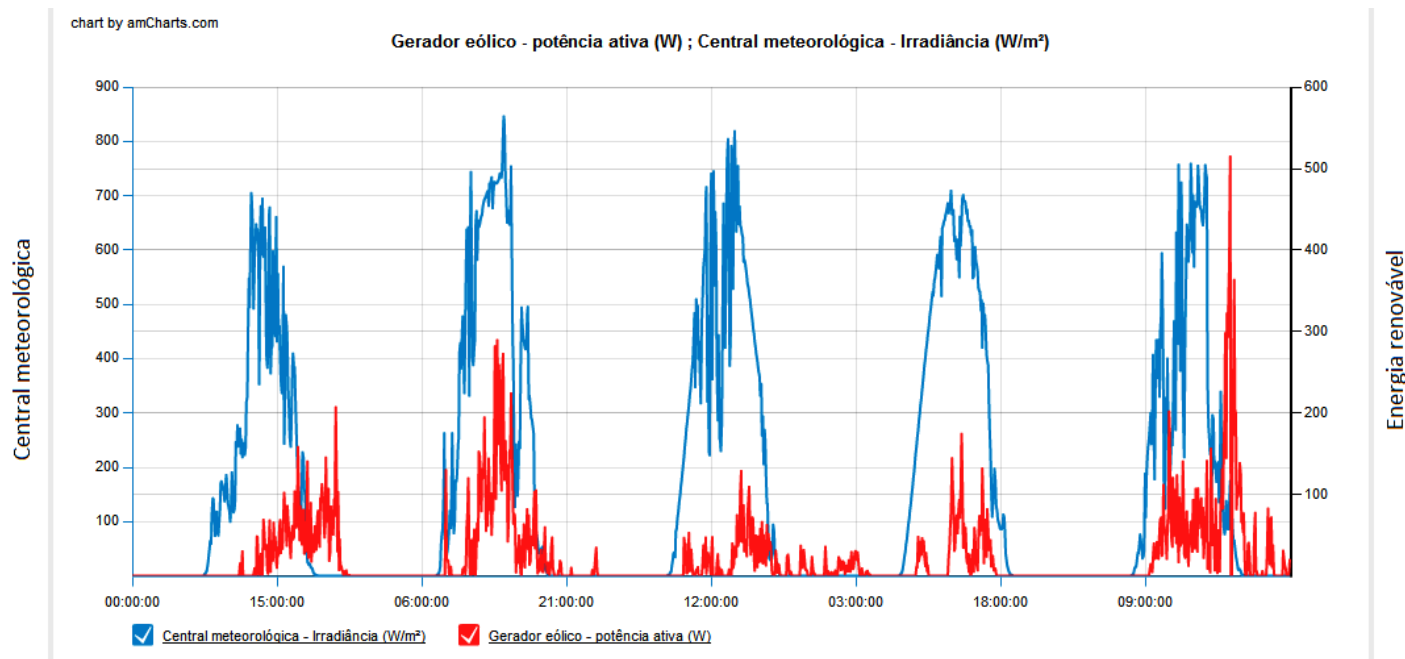
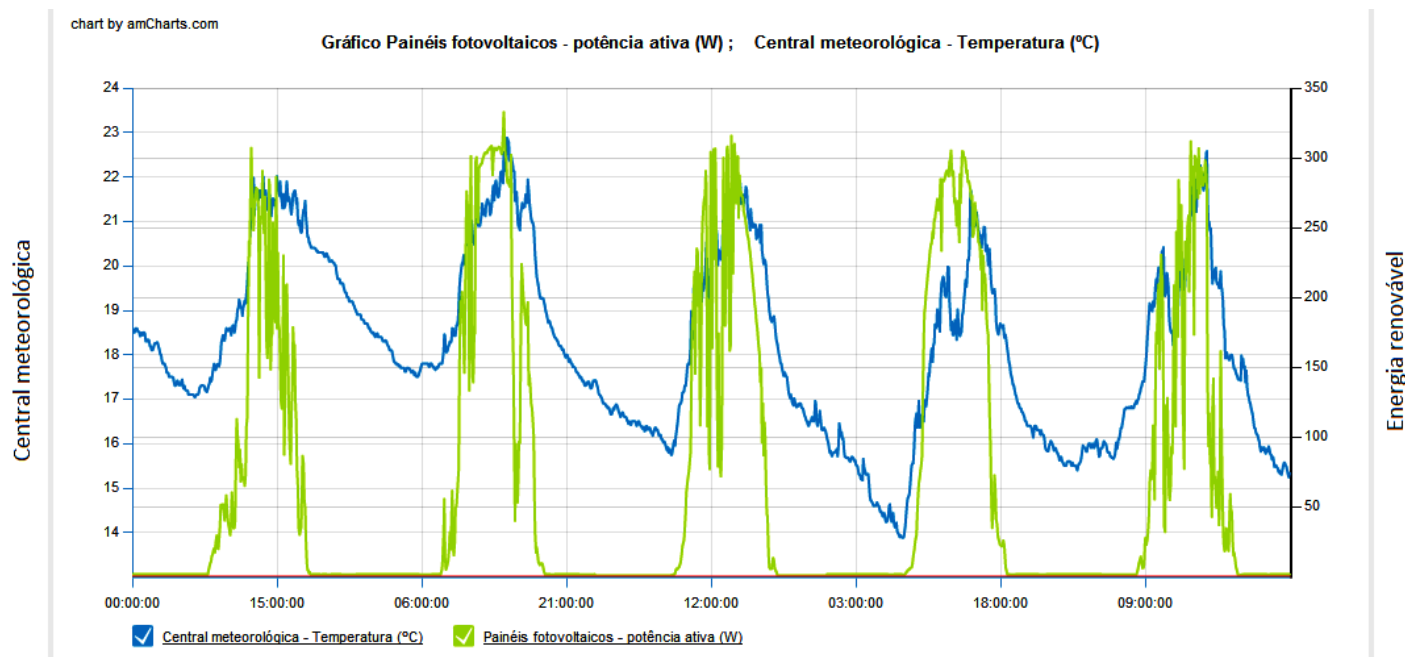


Figura 5.4 – Variação da temperatura e da potência do gerador eólico

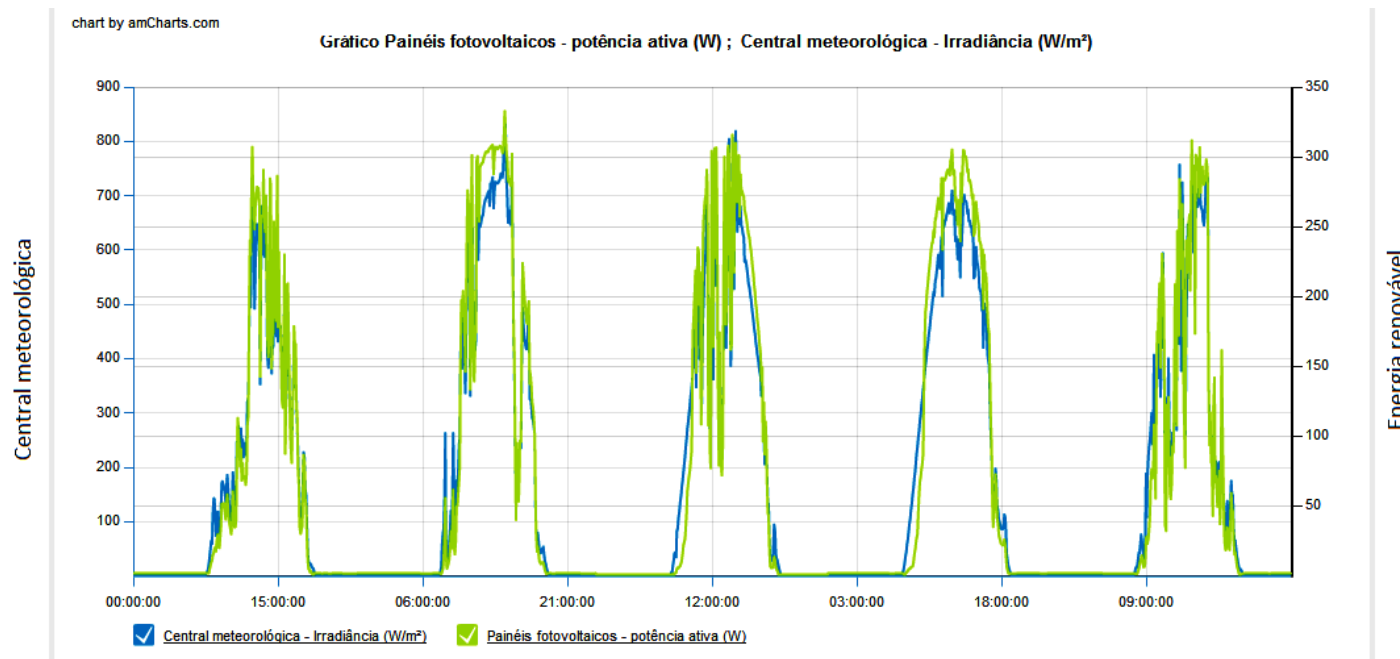


**Figura 5.5 – Variação da irradiância e da potência do gerador eólico**

Como se pode visualizar na Figura 5.4 e na Figura 5.5, a grande maioria da potência gerada pelo gerador eólico foi durante o dia, quando a temperatura e a irradiância são mais intensos, o que faz com que se só se visualize a importância do sol na produção elétrica. A irradiância contribui para o aumento da potência do gerador eólico com o aumento da temperatura da Terra e com consequência com o aumento da velocidade do vento, mas devido a vários fatores este fenómeno pode não se verificar sempre. Nestes dias em questão, a irradiância é importante para a produção de energia a partir do recurso eólico mas o principal fator é a velocidade do vento que nos dias em questão esteve fraco durante a noite.



**Figura 5.6 – Variação da temperatura e da potência dos painéis fotovoltaicos**



**Figura 5.7 – Variação da irradiância e da potência dos painéis fotovoltaicos**

Como se pode ver na Figura 5.6 e Figura 5.7, a potência dos painéis fotovoltaicos é bastante influenciada pela variação de temperatura e da irradiância. Os dados recolhidos estão muito próximos do que foi medido na Costa da Caparica, com as temperaturas medidas pela central meteorológica a variar entre 13,88 °C e 23,2 °C.

Na Figura 5.7 pode-se ver claramente que a curva de potência gerada pelos painéis fotovoltaicos é semelhante à curva da irradiância, cada vez que esta varia a potência dos painéis fotovoltaicos também varia. Para além da irradiância é importante também verificar a temperatura, como mostra a Figura 5.6, o valor máximo da temperatura coincide com o pico da irradiância, que poderá influenciar a produção de eletricidade. Devido ao facto da temperatura exterior ser inferior a 25 °C, não se consegue visualizar que com o aumento da temperatura existe uma diminuição do rendimento e como consequência uma diminuição da potência de saída dos painéis fotovoltaicos.

## 5.2 Correlação dos dados

Como explicado anteriormente, a correlação serve para determinar quão relacionadas estão duas variáveis. No site é possível ver a correlação entre a potência elétrica ativa do gerador eólico e dos painéis fotovoltaicos em relação à velocidade média do vento, temperatura e irradiância.

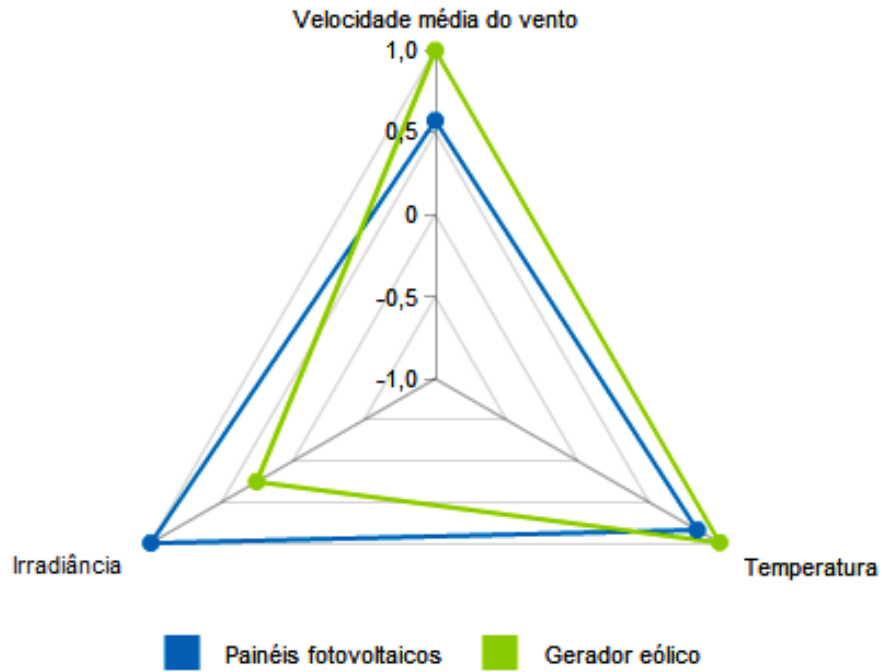


Figura 5.8 – Correlação no dia 10/10/2012

Correlação na data 2012-10-11

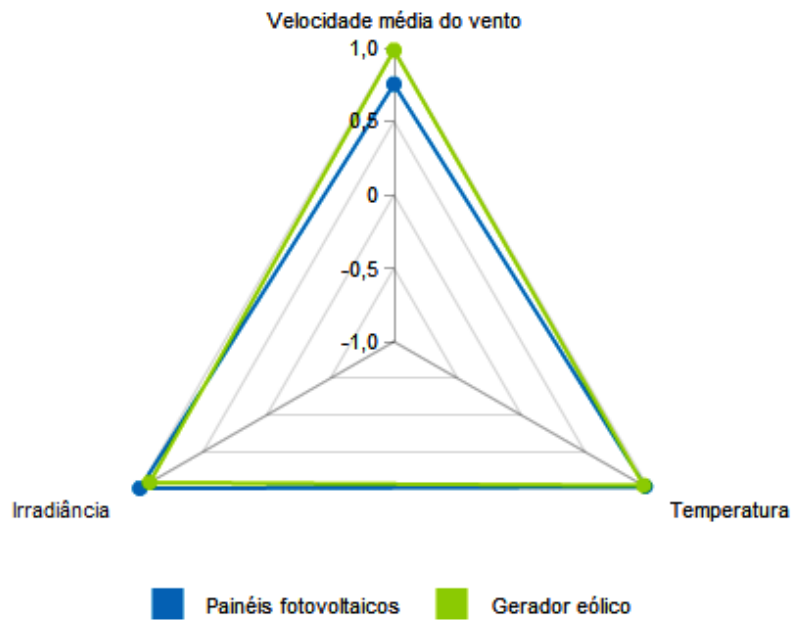
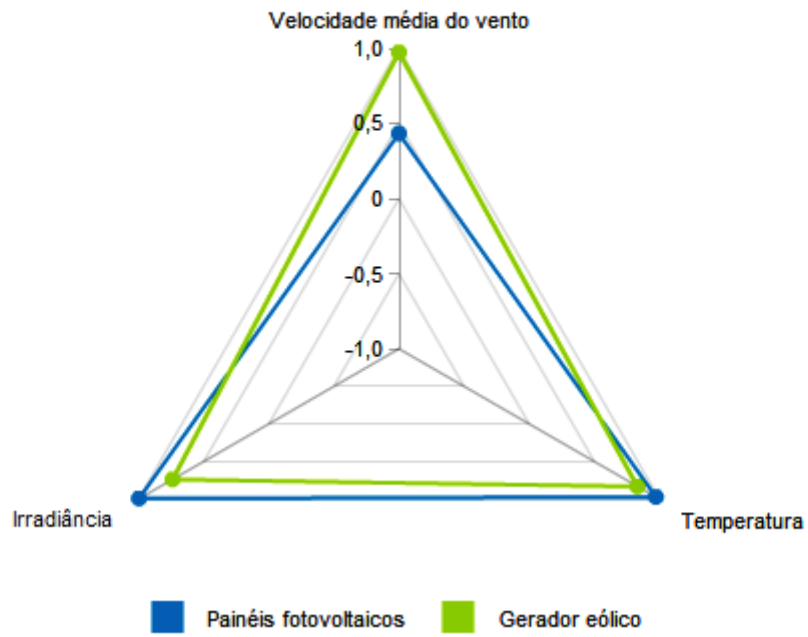


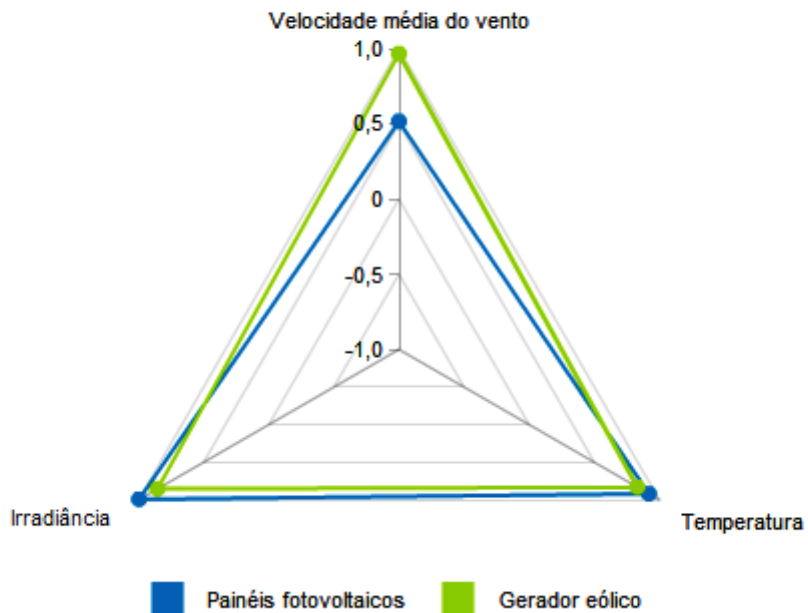
Figura 5.9 – Correlação no dia 11/10/2012

**Correlação na data 2012-10-12**

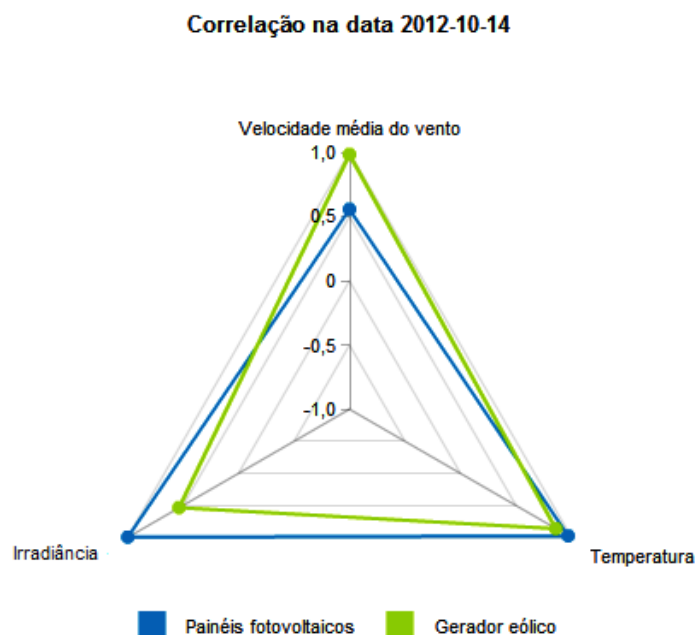


**Figura 5.10 – Correlação no dia 12/10/2012**

**Correlação na data 2012-10-13**



**Figura 5.11 – Correlação no dia 13/10/2012**

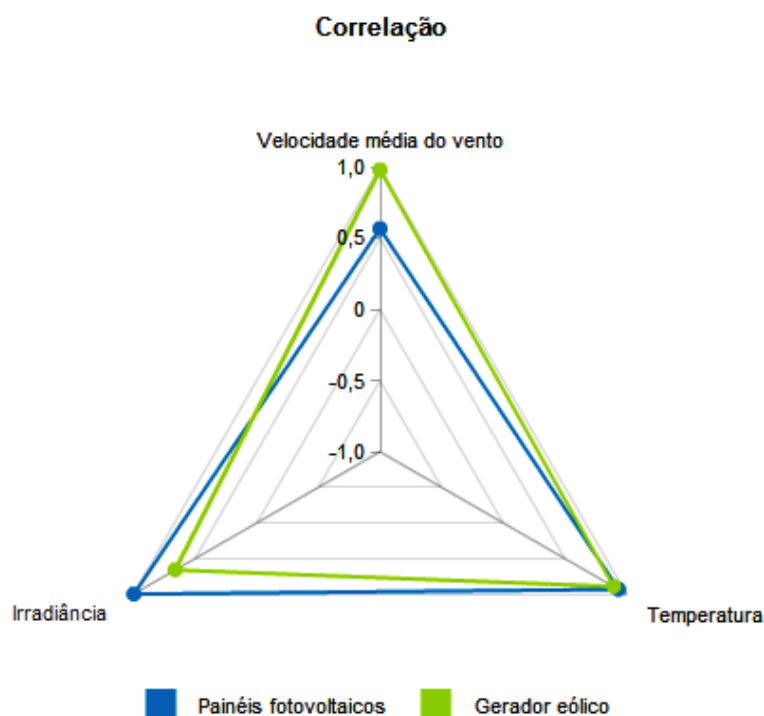


**Figura 5.12 – Correlação no dia 14/10/2012**

A correlação é efetuada a cada minuto, usando os valores da temperatura, irradiância e velocidade média do vento com os valores da potência ativa dos painéis fotovoltaicos e do gerador eólico. No total, são usados 1440 pontos para cada dia.

Na Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12 pode-se visualizar que a potência dos painéis fotovoltaicos é fortemente dependente da temperatura e da irradiância, variando de dia para dia com a velocidade média do vento já que com o aumento de temperatura existe um aumento de velocidade do vento. A potência do gerador eólico apresenta nos dias de teste uma correlação forte com os três dados recolhidos devido ao facto que grande parte da produção de eletricidade a partir do vento ter sido realizada durante o dia. Caso existisse mais vento durante a noite, ter-se-ia notado uma dependência menor nos dados da temperatura e da irradiância.

Para se perceber melhor a correlação nos cinco dias dos dados, foi feita uma média como demonstra a Figura 5.13.

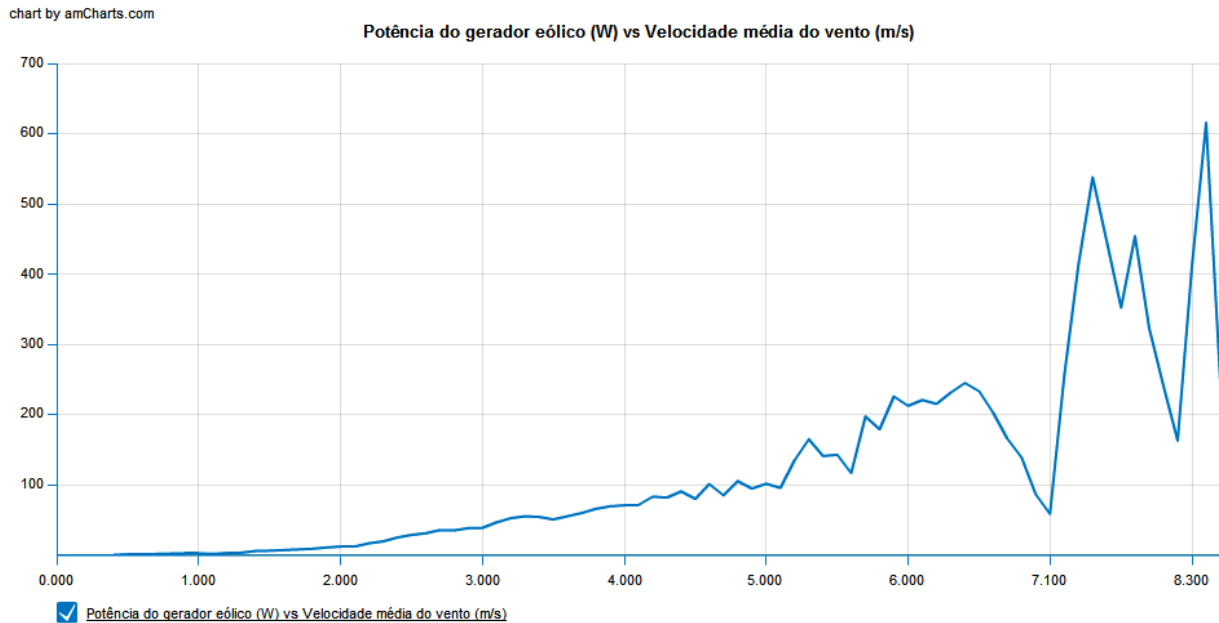


**Figura 5.13 – Média da correlação dos dias selecionados**

Como se pode ver na Figura 5.13, a potência dos painéis fotovoltaicos apresenta uma correlação forte ( $0,8 \leq r < 1$ ) com a temperatura e com a irradiância e moderada com a velocidade média do vento ( $0,5 \leq r < 0,8$ ). A potência do gerador eólico apresenta uma correlação forte com a velocidade média do vento e temperatura e uma correlação moderada com a irradiância. Estes dados poderiam ser diferentes se na altura do teste estivessem presentes outras condições meteorológicas provando que as condições do tempo são sempre imprevisíveis e alteram o funcionamento tanto dos painéis fotovoltaicos como do gerador eólico.

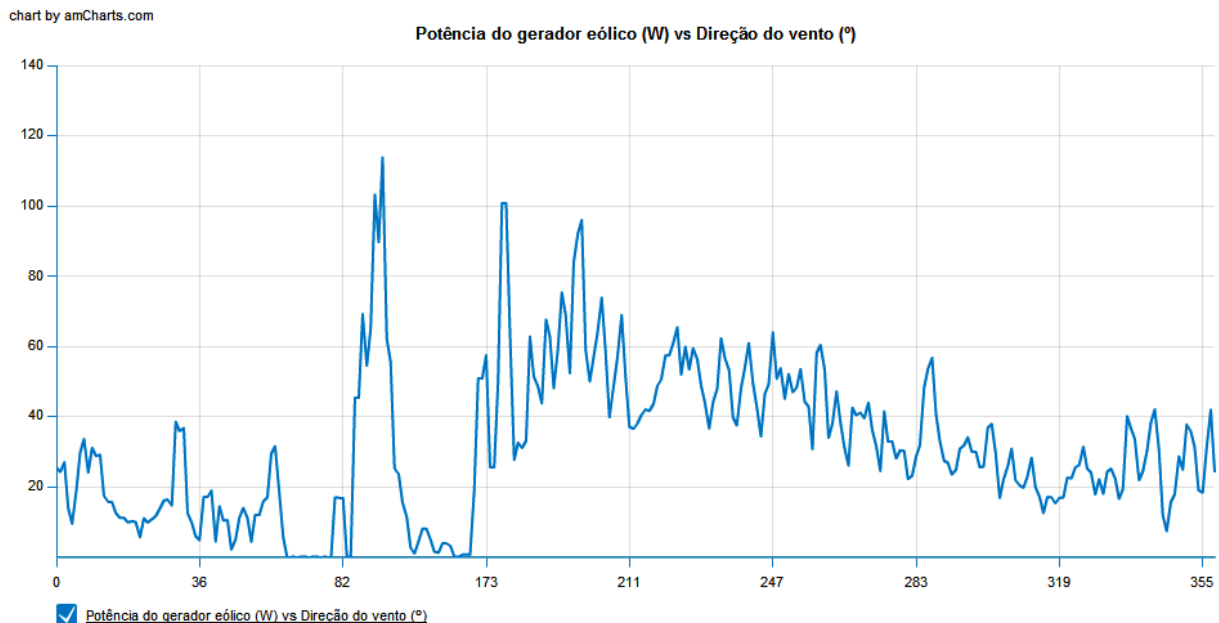
De modo a visualizar melhor cada componente meteorológica à parte, foram criados quatro gráficos que correlacionam a potência dos painéis fotovoltaicos e do gerador eólico com a temperatura, irradiância, direção e velocidade média do vento para o intervalo de dias em questão.

## Capítulo 5 – Resultados obtidos



**Figura 5.14 – Potência elétrica gerada em função da velocidade do vento**

Como se pode visualizar na Figura 5.14, com o aumento da velocidade do vento a potência gerada pelo gerador eólico também vai aumentando. É possível observar que a velocidade gerada tem uma quebra brusca na potência para velocidades superiores a 6,5 m/s. Isto pode-se dever à variação da direção do vento, sendo necessário um ajuste por parte do gerador eólico provocando uma perda no rendimento do gerador. Este fator pode ser visualizado em pormenor na Figura 5.15. Pode-se ver nitidamente que cada vez que a direção varia existe um declínio da potência gerada. Se o gerador eólico estiver localizado num local em que a variação do vento é muito elevada ter-se-á um sistema eólico com um rendimento muito baixo.



**Figura 5.15 – Potência gerada em função da variação do vento**

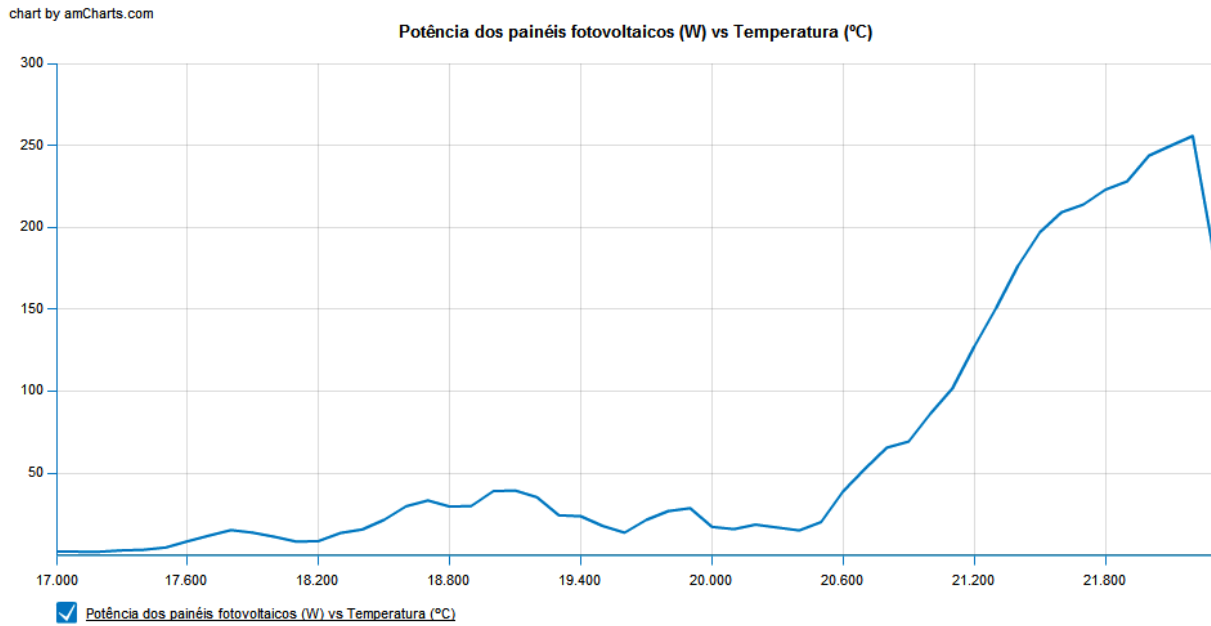


Figura 5.16 – Potência elétrica gerada em função da temperatura

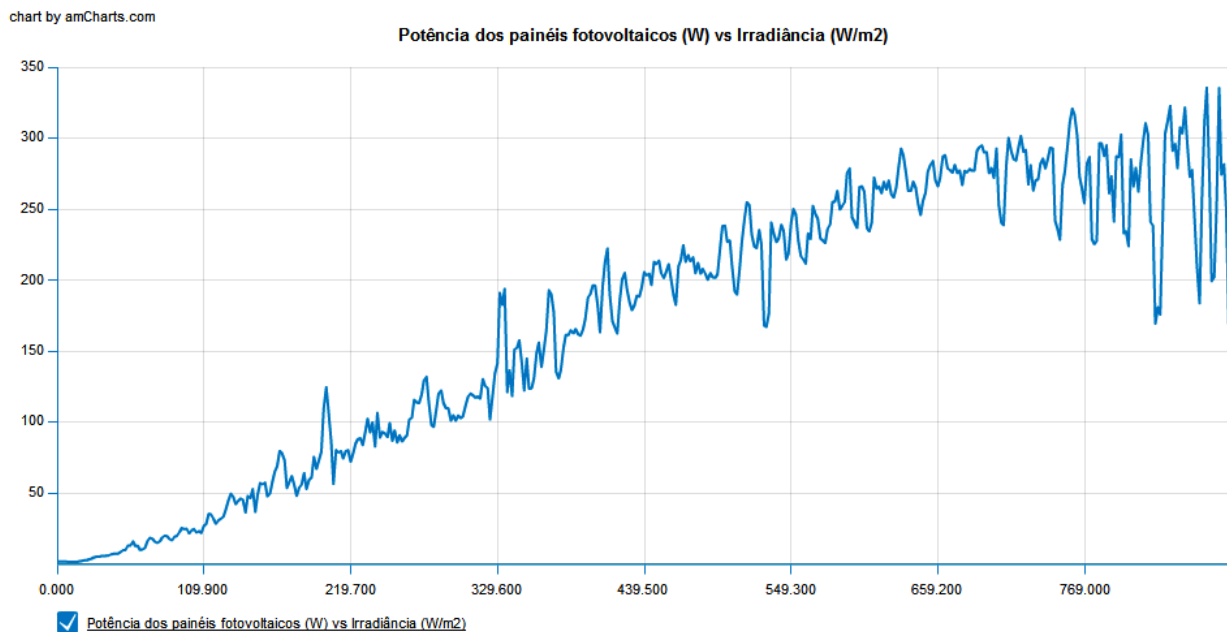


Figura 5.17 – Potência elétrica gerada em função da irradiância

Como se pode constatar na Figura 5.16 e Figura 5.17, a potência gerada pelos painéis fotovoltaicos é fortemente dependente da irradiância e da temperatura. Nos dias em questão pode-se verificar que a irradiância máxima atingida foi de 928,3 W/m<sup>2</sup> com uma potência gerada média de 335 W, estando perto da sua potência nominal de 460 W. A potência gerada pelos painéis também aumenta com o aumento da temperatura. Se a temperatura fosse mais elevada verificava-se um declínio da potência gerada pelos painéis fotovoltaicos.

### 5.3 Variação da direção do vento.

Como referido anteriormente, o vento é um fenómeno imprevisível que depende de várias forças. A central meteorológica mede a direção do vento e esse fenómeno não podia ser mais evidente como mostra a Figura 5.18 e Figura 5.19.

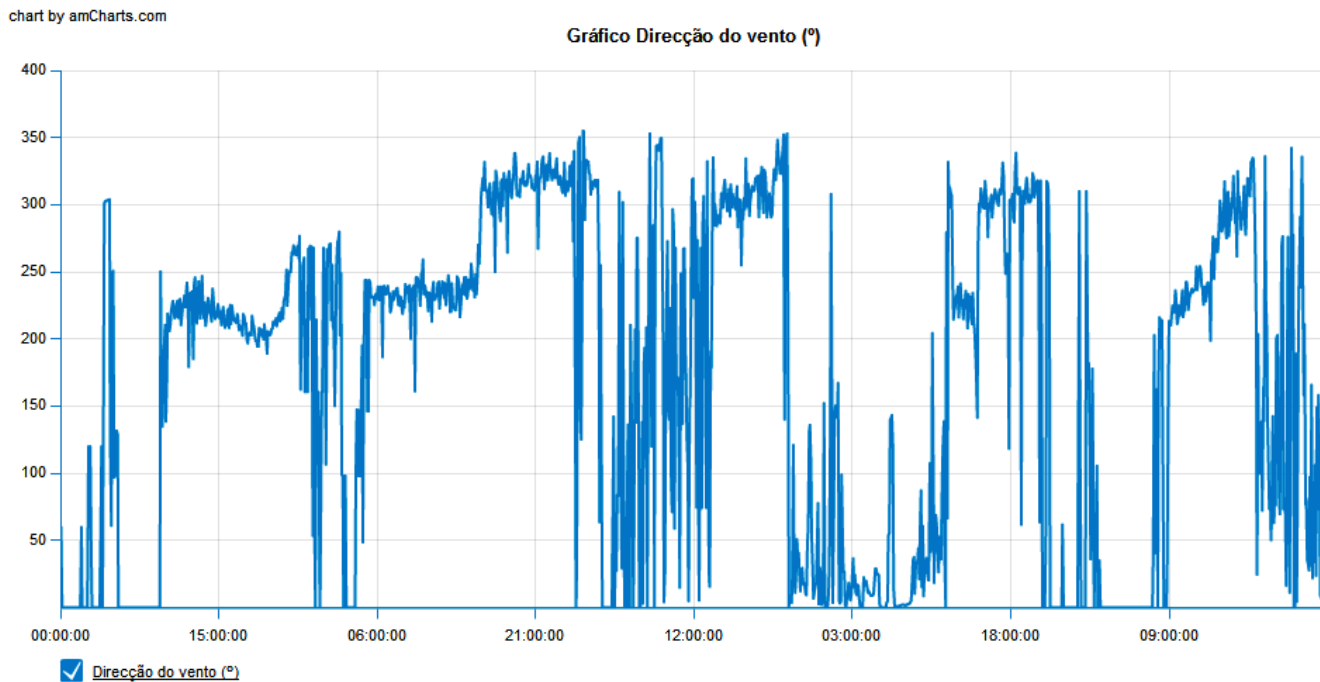


Figura 5.18 – Variação da direção do vento em graus

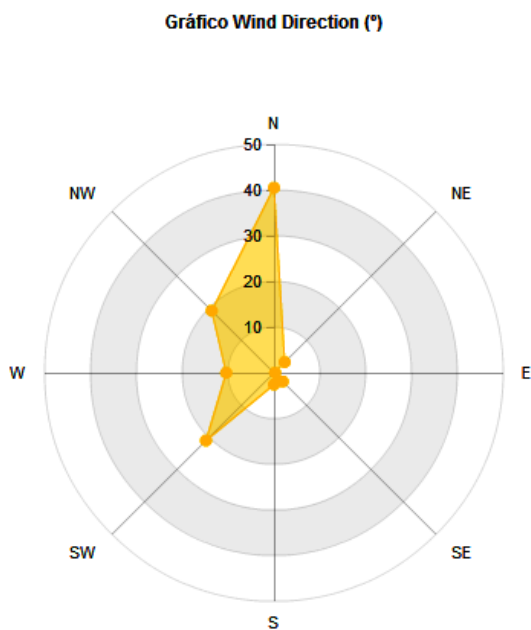


Figura 5.19 – Variação da direção do vento em percentagem

Pode-se visualizar na Figura 5.18 e Figura 5.19 que a velocidade do vento variou bastante com ventos médios de 1,82 m/s. A principal característica observada nas figuras anteriores é a grande variação da direção do vento ao longo do tempo. Em relação à direção do vento, é visível que os ventos predominantes são de Noroeste (315°) e de Norte (0° ou 360°).

## 5.4 Produzido Vs. Consumido

Com a instalação do contador de energia ligada ao consumo do departamento é possível ver qual o consumo do mesmo e também ver qual é a energia produzida face ao que é consumido.

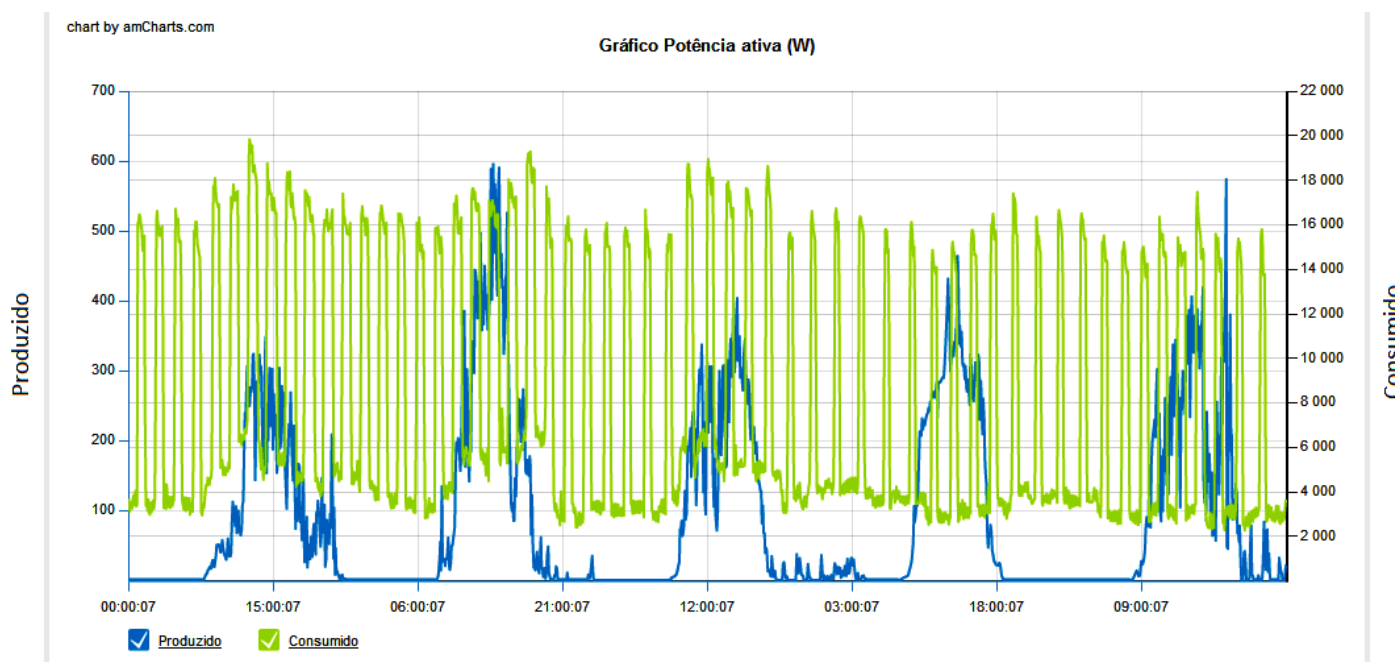


Figura 5.20 – Produção vs. Consumo

Na Figura 5.20 pode-se ver que os valores de consumo são muito superiores ao que é produzido pelo gerador eólico e pelos painéis fotovoltaicos. É muito difícil chegar a valores iguais de consumo e de produção devido ao fato do departamento ter equipamentos sempre a funcionar e alguns com bastante potência e com isso, consumir bastante eletricidade, mas com a instalação de mais painéis fotovoltaicos e com uma melhor gestão de consumo interno, como por exemplo, desligar os computadores quando não se está a usar, desligar luzes acesas durante o dia, entre outras coisas, poder-se-ia encurtar esta distância. Nos dias selecionados, a potência produzida correspondeu a 0,217 % do consumido de eletricidade do departamento.

## 5.5 Máximos, mínimos e médias registadas

Durante estes dias, os valores máximos, mínimos e médios de todos os dados foram registados para se ter uma perceção do que foi produzido nesses dias.

	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média   7h – 19h</b>
Potência gerador eólico (W)	989	0	22,67
Potência painéis fotovoltaicos (W)	367,6	0	68,44   135,04
Potência do departamento (W)	23465,9	2200	10251,66
Velocidade média do vento (m/s)	9,3	0	1,82
Temperatura (°C)	23,2	13,88	18,21   19,43
Irradiância (W/m <sup>2</sup> )	979,6	0	168,84   337,18

**Tabela 5.1 – Valores máximos, mínimos e médios dos dados recolhidos**

Como se pode visualizar na Tabela 5.1, o consumo do departamento é muito elevado, ao comparar com a produção a partir de fontes renováveis, vê-se que estas, pouco ou nada contribuem face ao elevado consumo do departamento. Também se pode ver que a potência do gerador eólico está muito longe da sua potência nominal de 2000 W. Isto deve-se ao facto da velocidade média do vento daqueles dias ser só de 1,82 m/s, quando o gerador necessita de 3,2 m/s para arrancar. Os painéis fotovoltaicos tiveram uma potência máxima muito perto da sua potência nominal de 460 W, isto com um máximo de irradiância de 979,6 W/m<sup>2</sup> quando pode num dia de céu limpo e quente chegar aos 1000 W/m<sup>2</sup>.

Só visualizando a potência dos painéis fotovoltaicos, a temperatura e a irradiância durante o dia (7h-19h), pode-se visualizar que a potência dos painéis é de 135 W, um terço da sua potência nominal sendo também a irradiância um terço do seu potencial. A temperatura só varia 2 °C devido ao período do ano em que os dados foram medidos.

## **Capítulo 6 – Conclusões e perspectivas futuras**

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas com base nos dados apresentados e descritos ao longo da tese. Posteriormente é apresentada propostas de futuros trabalhos a realizar.

### **6.1 Conclusões**

A implementação deste trabalho permitiu a visualização gráfica e por tabelas através da internet de todos os dados recolhidos pelos contadores de energia ligados à produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e consumo de eletricidade bem como os dados meteorológicos recolhidos pelo datalogger, estando todos estes aparelhos presentes no departamento de Engenharia Eletrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Todos os gráficos são acedidos de uma forma fácil o que permite a visualização dos dados por qualquer pessoa.

Depois de todos os dados analisados pode-se concluir vários aspetos em relações ao uso de energias renováveis para a produção de eletricidade. Como se pode constatar a variação e imprevisibilidade do vento contribui para que a produção de eletricidade a partir da energia eólica possa não ser completamente aproveitada e com a consequência do investimento demorar a ter retorno. Já a produção de eletricidade a partir da energia solar teve um bom aproveitamento do seu potencial e não chegou ao máximo devido à irradiância não ser máxima como consequência da altura do ano em que os dados foram recolhidos.

### **6.2 Perspetivas futuras**

Para trabalhos futuros, é interessante a implementação de um sistema que faça a previsão da produção de eletricidade a partir das condições atmosféricas e do historial dos dados recolhidos na altura do ano em questão e com isso consiga detetar automaticamente alguma anomalia no sistema de modo a ser corrigida.



## Bibliografia

- [1]. Programa Renováveis na Hora. Acedido em 13 de Janeiro de 2013, em: <http://www.renovaveisnahora.pt>
- [2]. John E. Oliver, *Encyclopedia of World Climatology*. The Netherlands: Springer, 2005.
- [3]. João Carlos Amador Guerreiro, Dissertação de Mestrado apresentado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa - *Eficiência Energética, Sistema de Monitorização de Consumos de Energia*, 2009.
- [4]. Marcos André Gomes Dias Afonso, Dissertação de Mestrado apresentado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – *Sistema de Monitorização de Condições Meteorológicas e Correlação com Produção Renovável de Energia*, 2010
- [5]. Rui M.G. Castro, *Introdução à Energia Eólica*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, 2007.
- [6]. Daniel Vaz e Isabel Ferreira, Acetatos Teóricos da disciplina Tecnologias em energias renováveis I: Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- [7]. Volker Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*. London: Earthscan, 2005.
- [8]. Rui M.G. Castro, *Introdução à Energia Fotovoltaica*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, 2009.
- [9]. C. Monteiro, acetatos teóricos *Energia Solar Fotovoltaica – A célula Fotovoltaica*. FEUP, 2007
- [10]. C. Monteiro, acetatos teóricos *Energia Solar Fotovoltaica – Radiação Solar*. FEUP, 2007
- [11]. João Murta Pina, Acetatos Teóricos da disciplina Tecnologias em energias renováveis II: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- [12]. MySQL. Acedido em 10 de Novembro de 2012, em: <http://www.mysql.com>
- [13]. Sobre phpMyAdmin. Acedido em 10 de Novembro de 2012, em: <http://www.phpmyadmin.net>
- [14]. J. Niederauer, *Desenvolvendo Websites com PHP*, 2ª ed: Novatec, 2011.
- [15]. Mukund R. Patel, *Wind and Solar Power Systems*. New York, U.S.A.: Taylor and Francis Group, 2006.
- [16]. Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, e Ervin Bossanyi , *Wind Energy Handbook*. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- [17]. N. Forero, J.Hernández, ae G. Gordillo, *Development of a monitoring system for a PV solar plant*, Elsevier, 2006.
- [18]. F. R. Martins, R. A. Guarnieri, e E. B. Pereira, *O aproveitamento da energia eólica*, 2008.

[19]. Spence, M. (1993) *Energia Solar*. Lisboa: Melhoramentos.

[20]. Vernier, J. (2005) *Les Energies Renouvelables*. Paris : Savoir Livre.

[21]. Aurea Soura, Acetatos Teóricos da disciplina Métodos Estatísticos: Universidade dos Açores.