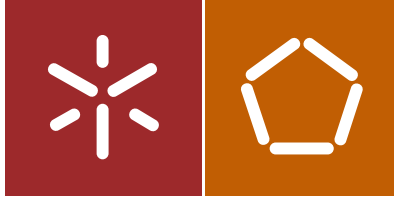


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Miguel Silva Matos Pimenta Coutinho

Monitorização de painéis solares
fotovoltaicos e condições meteorológicas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Miguel Silva Matos Pimenta Coutinho

Monitorização de painéis solares
fotovoltaicos e condições meteorológicas

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de
Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Sérgio F. Lopes
Professor João Luiz Afonso

“Tudo vale a pena, se a alma não é pequena”

Fernando Pessoa

Agradecimentos

O longo processo de desenvolvimento desta dissertação de mestrado foi apenas possível devido ao apoio de várias pessoas às quais quero deixar um sincero agradecimento.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Sérgio Lopes, e ao coorientador, Professor João Luiz Afonso, pelo apoio e disponibilidade.

Aos responsáveis do GEPE (Grupo de Eletrónica de Potência e Energia) pelo material disponibilizado.

Aos amigos e colegas de curso sempre disponíveis.

Ao amigo Rui Rodrigues pela ajuda com a placa de desenvolvimento.

Finalmente, um especial agradecimento a toda a minha família, em especial aos meus pais, Faustino e Maria Emília Coutinho, pelo apoio não só na execução deste trabalho, mas também durante todo o meu percurso académico, e à Miluzka Contreras por acreditar sempre em mim.

Resumo

A indústria, face à flexibilidade e otimização, utiliza a telemetria, por exemplo, no âmbito da produção da energia elétrica, fazendo a monitorização e controlo de várias centrais hidroelétricas de forma centralizada num local remoto, tendo como base as várias redes de comunicação e unidades de controlo (microcontroladores, autómatos programáveis, etc...).

Esta dissertação consiste no desenvolvimento de um sistema de monitorização de painéis fotovoltaicos. Este sistema integra um dispositivo capaz de recolher os dados relativos aos dados meteorológicos, guardá-los na sua memória interna e enviar, periodicamente, valores médios da informação obtida pelas medições para um servidor web através de um módulo 3G. Este servidor permite monitorizar o funcionamento de painéis fotovoltaicos através da medição da potência produzida, sendo ainda possível saber à distância se existe alguma falha. Toda a informação poderá ser visualizada online num sítio web construído para exibir os dados alojados na base de dados do servidor.

O sistema proposto nesta dissertação permite também utilizar os dados relativos aos painéis para obter informação sobre os recursos solares disponíveis em locais específicos e também medir o impacto das condições climáticas, como a temperatura, na conversão energética.

A placa de desenvolvimento é baseada no microcontrolador ATmega8 e são utilizados sensores resistivos para a luminosidade e temperatura e sensores de efeito de Hall para a medição do vento. A página web foi desenvolvida em linguagem PHP.

Abstract

The industry uses the telemetry, for example, when producing electrical energy, to monitor and control multiple hydroelectric complexes from a single remote place: satellites send the information from its sensors to a station on Earth.

This dissertation consists in developing a system for solar panel monitoring, integrating a device capable of retrieving weather data, store it in its memory and send, periodically, the average result via 3G modem. It also allows the monitoring of solar panels by measuring the supplied power, therefore making possible to detect problems from afar. All of this data is available online on a web site built to show the information stored in the server database.

The system proposed in this dissertation also allows the usage of the solar panel data to study the solar resources in specific locations or climate conditions impact on solar energy conversion.

The development board uses the microcontroller ATmega8, resistive sensors for light and temperature and Hall Effect sensors for wind measurement. The web page was built using PHP.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização.....	2
2. Fundamentos Teóricos	4
2.1. Introdução	4
2.2. Energia Solar.....	5
2.3. Efeito Fotovoltaico	11
2.4. Células Solares Fotovoltaicas	13
2.5. Sistemas Solares Fotovoltaicos	18
2.6. Tecnologia Solar Fotovoltaica em Portugal.....	19
2.7. Banda Larga Móvel.....	20
3. Implementação	22
3.1. Placa de Desenvolvimento e Microcontrolador.....	22
3.2. Tensão no Painel Solar Fotovoltaico	25
3.3. Corrente No Painel Fotovoltaico	26
3.4. Irradiação Solar.....	27
3.5. Temperatura.....	30
3.6. Tensão Na Bateria	34
3.7. Corrente na Bateria	35
3.8. Vento	35
3.9. Modem	39
3.10. Placa de Interface Analógico	41
3.11. Aplicação Web e Base de Dados	42
4. Resultados	46
4.1. Modelo Final do Projeto.....	46
4.2. Sítio Web	46
4.3. Testes Utilizando Duzentos Resultados	49
4.4. Testes Durante Aproximadamente Nove Horas de Um Dia.....	52
4.5. Cálculo da Bateria e Potência para este Sistema	55

5. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuro	60
---	----

Lista de Figuras

Figura 2.1 - AcuRite 00589 [5]	4
Figura 2.2 - Raspberry Pi weather station for schools [6]	5
Figura 2.3 - Dados característicos do Sol.....	6
Figura 2.4 – Espectro da luz solar [7]	6
Figura 2.5 - Irradiação incidente na Terra [8].....	7
Figura 2.6 - Piranómetro [9]	7
Figura 2.7 - Mapa da irradiação anual (kWh/m ²) [10]	8
Figura 2.8 - Aproveitamento da energia solar [8]	8
Figura 2.9 - Variação da altura do Sol [8]	9
Figura 2.10 - Irradiação incidente num painel [8]	9
Figura 2.11 - Valores médios de energia recebida em Portugal continental [8].....	10
Figura 2.12 - Sítio de cálculo da irradiação solar [11]	11
Figura 2.13 - Rede de átomos de silício [12]	12
Figura 2.14 - Dopagem do tipo N [12]	12
Figura 2.15 - Dopagem do tipo P [12]	12
Figura 2.16 - Junção PN e curva característica [8].....	13
Figura 2.17 - Efeito fotovoltaico [13].....	14
Figura 2.18 - Modelo equivalente da célula fotovoltaica [14]	14
Figura 2.19 - Células fotovoltaicas [15]	15
Figura 2.20 - Curva característica de uma célula fotovoltaica [8]	15
Figura 2.21 - Célula, módulo e painel fotovoltaicos [16]	16
Figura 2.22 - Constituição de um módulo fotovoltaico [8]	16
Figura 2.23 - Curvas características de um módulo fotovoltaico [8].....	17
Figura 2.24 - Curva característica de potência de um módulo fotovoltaico [18].....	17
Figura 2.25 - Curvas características de potência função da irradiação [8].....	18
Figura 2.26 - EDP Renováveis (Estarreja 2MW) [22]	19
Figura 2.27 - Nova capacidade fotovoltaica instalada em Portugal (kW) [22]	19
Figura 2.28 - Subscrições de banda larga móvel (a laranja a comparação por desenvolvimento económico) [26]	21
Figura 3.29 - Diagrama geral do hardware.....	22
Figura 3.30 - Microcontrolador ATmega8 [27].....	23

Figura 3.31 – Placa de desenvolvimento.....	23
Figura 3.32 – Fluxograma do código do microcontrolador	25
Figura 3.33 – Circuito para leitura da tensão no painel fotovoltaico.....	25
Figura 3.34 - Circuito para leitura da corrente no painel	27
Figura 3.35 - Circuito para observação da irradiação solar.....	27
Figura 3.36 - Fotorresistência NSL19-M51 [28]	28
Figura 3.37 – Características elétricas da fotorresistência NSL19-M51 [28].....	28
Figura 3.38 - TM-208	28
Figura 3.39 - Esquema da calibração do LDR	29
Figura 3.40 - Gráfico da calibração do LDR	30
Figura 3.41 - Exemplo de um termistor NTC [29].....	30
Figura 3.42 - Circuito para medição da temperatura.....	31
Figura 3.43 - Relação entre temperatura e resistência.....	32
Figura 3.44 – Gráfico da conversão do NTC	33
Figura 3.45 – Circuito para leitura da tensão na bateria.....	34
Figura 3.46 – Circuito para leitura da corrente na bateria.....	35
Figura 3.47 - Peças adquiridas para medição da intensidade e direção do vento.....	36
Figura 3.48 - Sensor AH3144 [31].....	36
Figura 3.49 - Montagem para medição da direção do vento.....	37
Figura 3.50 - Direções do vento [33]	37
Figura 3.51 - Montagem para medição da velocidade do vento	38
Figura 3.52 - Modem 3G SIM800 da SIMCOM	39
Figura 3.53 - Aquisição e envio de dados via GSM.....	40
Figura 3.54 - Algumas imagens da placa de interface analógica.....	41
Figura 3.55 - Esquema da placa de interface analógico	42
Figura 3.56 - Tabelas da base de dados.....	42
Figura 3.57 - Organização do sítio web	43
Figura 4.58 - Modelo final do projeto	46
Figura 4.59 - Página web inicial.....	47
Figura 4.60 - Página web da bateria	47
Figura 4.61 - Página web do painel	48
Figura 4.62 - Página web da temperatura e irradiação solar	48
Figura 4.63 - Página web do vento	49
Figura 4.64 - Medição da potência do painel.....	49

Figura 4.65 - Medição da irradiação.....	50
Figura 4.66 - Comparação entre a irradiação e potência	50
Figura 4.67 - Erro entre a potência e irradiação	50
Figura 4.68 - Medição da temperatura	51
Figura 4.70 - Medição da velocidade do vento	52
Figura 4.71 - Potência ao longo de um dia.....	52
Figura 4.72 - Irradiação ao longo de um dia.....	53
Figura 4.73 - Velocidade do vento ao longo de um dia.....	53
Figura 4.74 - Comparação das potências ao longo de um dia.....	54
Figura 4.75 - Verificação da corrente na carga.....	54
Figura 4.76 - Irradiação solar ao longo de um dia.....	55
Figura 4.77 - Temperatura ao longo de um dia.....	55
Figura 4.78 - Photovoltaic Geographical Information System [34]	56
Figura 4.79 - Solartec S01PC-15 [36]	59
Figura 4.80 - Multipower MP4.5-4 4V / 4.5Ah [37].....	59

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Gerações de redes móveis.....	20
Tabela 2 - Lista de material da placa de desenvolvimento	24
Tabela 3 - Calibração do LDR.....	29
Tabela 4 – Conversão do NTC.....	32
Tabela 5 - Ligações do sensor de direção do vento	37
Tabela 6 - Ligações da placa de interface analógico	41

1. Introdução

A humanidade há muito sonhava em tirar partido de sistemas de comunicação autossustentáveis, assim como a exploração de fontes de energia renovável, sendo a solar uma das mais importantes. Já as antigas civilizações usavam a luz solar para criar o fogo. No início do século XIX, Auguste Mouchot deu os primeiros passos num motor a vapor, sendo um coletor solar a fonte de energia [1]. Em 1839 foi observado o efeito fotovoltaico por um físico francês, chamado Alexandre Edmond Becquerel, sendo o inventor norte-americano, Charles Fritts, o criador da primeira célula fotovoltaica [2]. No final do mesmo século, Tesla apresentou um sistema de comunicações sem fios para controlar um barco, e, por sua vez, Marconi, no início do século XX, implementou um sistema de comunicação através do Oceano Atlântico, com mensagem em código morse [3].

1.1. Motivação

A indústria, face à flexibilidade e otimização, utiliza a telemetria, por exemplo, no âmbito da produção da energia elétrica, fazendo a monitorização e controlo de várias centrais hidroelétricas de forma centralizada num local remoto, tendo como base as várias redes de comunicação e unidades de controlo (microcontroladores, autómatos programáveis...). É neste contexto que surge a ideia de desenvolver um sistema remoto, com telemetria, e autónomo do ponto de vista energético. Em suma, pretende-se contribuir com mais uma solução de telemetria, que beneficie as necessidades domésticas, pois este tipo de sistemas já existe para potências elevadas mas a um preço elevado.

Existem, no mercado, diferentes tipos de estações meteorológicas, algumas autossuficientes com o auxílio de painéis solares, mas que não tiram o máximo partido desta característica, ou seja, utilizam a fonte de energia, mas não monitorizam a potência fornecida. Assim sendo, não adquirem informações sobre a energia captada pelo painel.

O sistema proposto nesta dissertação permite utilizar essa informação para detetar possíveis falhas, além de obter informação sobre os recursos solares disponíveis, em locais específicos, e também medir o impacto das condições climáticas, como a humidade, na conversão energética.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta dissertação são os seguintes:

- Construir um sistema capaz de medir as informações meteorológicas, como temperatura, irradiação solar e vento;
- Permitir a monitorização remota de painéis fotovoltaicos, com transmissão de dados sem fios via 3G;
- Aproveitar a energia gerada pelos painéis para aumentar a autonomia do sistema;
- Fornecer a medição da energia gerada, sincronizada com os parâmetros meteorológicos;
- Disponibilizar, via web, os dados de operação do painel.

Com este projeto, será possível monitorizar painéis solares, com o exemplo a ser dado pelas células fotovoltaicas, fornecendo informações sobre a potência gerada e permitindo saber, à distância, a diferença entre o seu atual funcionamento e o esperado nas condições observadas. Assim, podem ser detetados danos ou defeitos no painel.

Será possível também reunir as informações do estado do tempo, guardá-las na memória interna do sistema e, periodicamente, enviar esses dados para o servidor. Deste modo, torna-se possível a monitorização e o uso dos dados, por parte dos utilizadores do servidor. Com esta informação é possível traçar gráficos meteorológicos.

1.3. Organização

Este documento está dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, Introdução, é realizada uma introdução ao projeto, dando a conhecer a motivação e os objetivos.

No segundo capítulo, Fundamentos Teóricos, apresentam-se dados e informações sobre energia solar, estações meteorológicas.

No terceiro capítulo, Implementação, descrevem-se os componentes utilizados, bem como os métodos de calibração do sensor de irradiação.

No quarto capítulo, Resultados, mostram-se os resultados obtidos.

No quinto e último capítulo, Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuro, são apresentadas as conclusões e sugeridas ideias do que pode ser feito futuramente para complementar este trabalho.

2. Fundamentos Teóricos

Este capítulo contém informações sobre estações meteorológicas, painéis e células fotovoltaicas e descreve a importância da energia solar no nosso planeta.

2.1. Introdução

No mercado existem variados produtos que medem os dados meteorológicos e fazem uma previsão do estado do tempo para dias futuros. Os modelos comercializados diferem em poucos aspetos, sendo o preço proporcional à precisão e quantidade de informações recolhidas, bem como funcionalidades extra. Na loja *Amazon*, dos Estados Unidos da América, é possível encontrar muitos destes artigos, com preços desde os cinco até aos mil dólares.

Um exemplo que pode ser visto na Figura 2.1, é o modelo *00589* da empresa *AcuRite*. Das suas funcionalidades, destacam-se a alta precisão dos sensores (vento, temperatura e humidade) e o histórico diário e mensal, com registo de todos os dados das últimas doze horas. Este dispositivo tem um custo de 129,99 dólares [4].



Figura 2.1 - AcuRite 00589 [5]

Na internet é possível encontrar variados projetos, desde pequenas atividades caseiras até projetos académicos. Um exemplo deste último é o *Raspberry Pi weather station for schools*, criado por David Honess que, ao longo do seu percurso, foi colecionando ajudas por parte de alguns voluntários. O seu objetivo era criar uma experiência onde os alunos pudessem recolher e aceder a dados meteorológicos, a partir de mil estações meteorológicas espalhadas pelo mundo, através de uma base de dados *Oracle Application Express*. Este dispositivo permite medir a pluviosidade, o

vento, a temperatura, a pressão, a humidade e a qualidade do ar. Todo o projeto assenta numa Raspberry Pi, cujo produto final pode ser visto na Figura 2.2 [6].

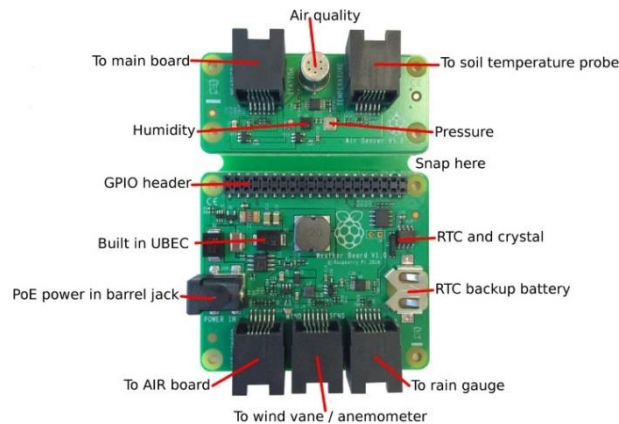


Figura 2.2 - Raspberry Pi weather station for schools [6]

2.2. Energia Solar

A irradiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para gerar potência mecânica e/ou elétrica. Pode também ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, destacando-se o termoelétrico e o fotovoltaico.

O Sol é composto por 80% de hidrogénio, 20% hélio e apenas por 0,1% de outros elementos. É a principal fonte energética na Terra. Comporta-se como um corpo negro a emitir permanentemente radiação à temperatura de 6000 K. O seu poder radiante provém dos processos de fusão nucleares, nos quais o sol perde 4,3 milhões de toneladas de massa a cada segundo e convertendo-a em energia radiante. Em cada segundo é gerada a energia aproximada de 38×10^{25} Joules. Apenas uma pequena parte desta energia atinge a superfície terrestre e a irradiação solar diminui com o quadrado da distância ao Sol [7].

Como a distância entre a Terra e o Sol varia durante o ano, considerando a trajetória elítica da Terra, entre 3% e 4%, a irradiação oscila também entre 1325 W/m^2 e 1420 W/m^2 , considerando-se a média anual de $1367 \pm 2 \text{ W/m}^2$. Isto acontece devido a efeitos na atmosfera de absorção e reflexão, variação da humidade, nuvens, poluição, latitude do local e estação do ano. A Figura 2.3 apresenta os dados característicos do Sol [8].

Massa	2,2x10 ²⁷ ton.	334000 vezes mais que a Terra
Diâmetro	14x10 ⁵ km	110 vezes mais que a Terra
Distância a Terra	15x10 ⁷ km	
Núcleo	Produz 90% energia e tem 320000 km de diâmetro	
Formato da Radiação solar	7% Radiação ultravioleta 47% Radiação visível 46% Radiação infravermelha	
Energia produzida por segundo	38x10 ²⁵ J/s [W]	

Figura 2.3 - Dados característicos do Sol

Neste âmbito, todos os corpos emitem e absorvem irradiação que consiste numa perturbação ondulatória de natureza eletromagnética, caracterizada por um comprimento de onda que se propaga no espaço e em meios materiais à velocidade da luz.

A luz visível, diretamente acessível aos nossos sentidos, corresponde a um intervalo de comprimentos de onda entre 0,4 µm e 0,75 µm. A atmosfera terrestre reduz a irradiação que atinge a superfície da Terra, o ozono, vapor de água e dióxido de carbono absorvem a irradiação com determinados comprimentos de onda, aquando da sua passagem pela atmosfera. O espectro da luz solar pode ser visto na Figura 2.4.

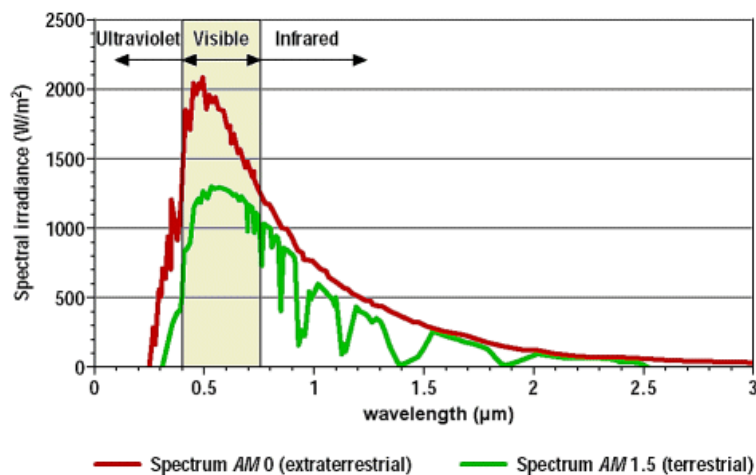


Figura 2.4 – Espectro da luz solar [7]

Outras partículas atmosféricas refletem ou espalham a luz solar e apenas uma parte do feixe de irradiação extraterrestre atinge a superfície da Terra diretamente. Esta é a única que pode ser usada em alguns sistemas, mas há outros que também conseguem aproveitar a irradiação dispersa.

A irradiação que atinge a Terra divide-se em duas componentes, a direta e a difusa. Se a superfície estiver inclinada, haverá uma terceira, refletida pelo ambiente circundante, o albedo, como mostra a Figura 2.5.

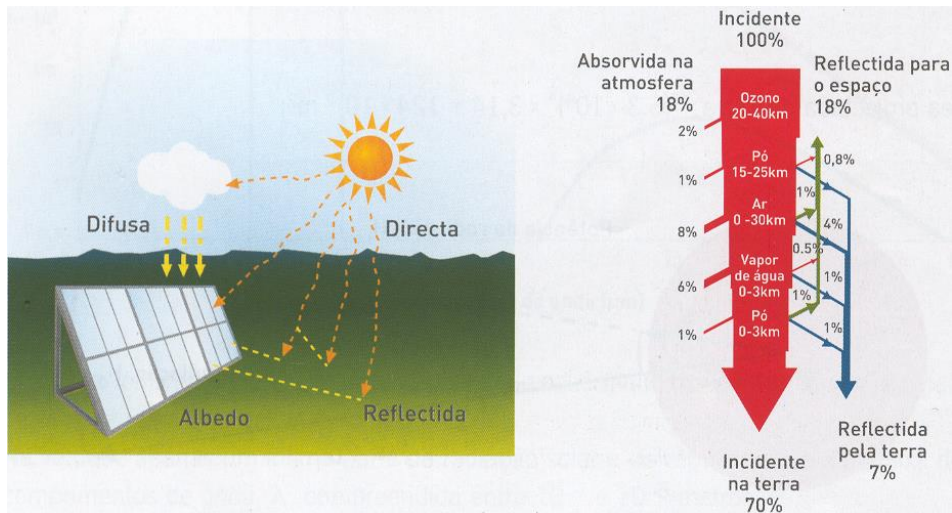


Figura 2.5 - Irradiação incidente na Terra [8]

Uma superfície perpendicular à luz solar direta geralmente recebe a maior irradiação possível. Normalmente é inferior a 1000 W/m^2 pois uma parte é absorvida pela atmosfera. Valores mais altos são possíveis apenas em situações excepcionais como no caso de, por exemplo, a neve refletir a luz solar na direção da superfície recetora.

Existem vários aparelhos para a medição da irradiação solar:

- Piranómetro – mede a irradiação global (apresentado na Figura 2.6).
- Actonógrafo – mede e regista a irradiação global.
- Heliógrafo – mede e regista o número de horas de insolação.
- Piroheliómetro – mede a irradiação direta normal.

Existem, atualmente, equipamentos que usam fotocélulas como elemento sensor mas, apesar de terem um custo baixo, não possuem uma resposta espectral adequada.



Figura 2.6 - Piranómetro [9]

Através dos dados destes aparelhos, é possível criar, com alguma segurança, mapas de irradiação solar no planeta. Na Figura 2.7, mostra-se um mapa com a energia média anual, em kWh/m².

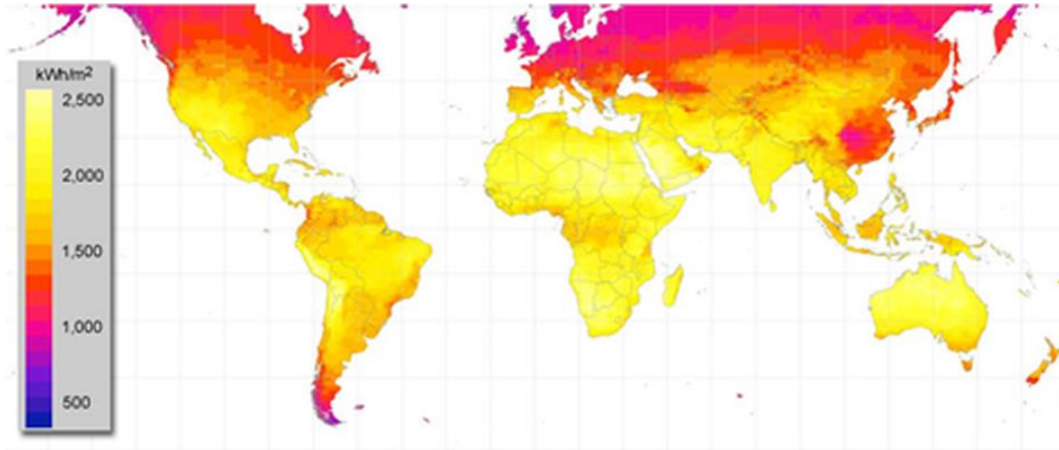


Figura 2.7 - Mapa da irradiação anual (kWh/m²) [10]

Muitas formas de energias renováveis dependem do Sol: a hídrica, proveniente da água evaporada e transformada em chuva, os ventos, provenientes do aquecimento das massas de ar e da rotação da Terra, entre outras. A energia solar pode ser aproveitada sem produzir ruído, sem poluição (durante o processo de aproveitamento da energia) e, em alguns casos, sem partes ou peças em movimento, sendo os seus sistemas altamente fiáveis. A Figura 2.8 esquematiza o aproveitamento da energia solar.

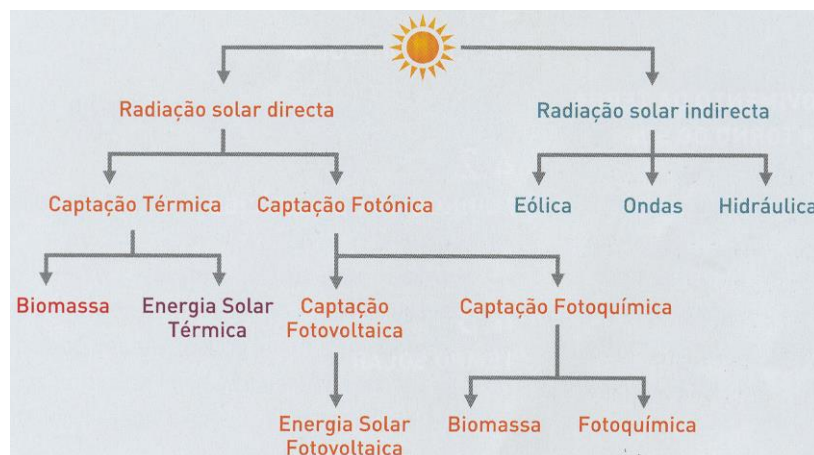


Figura 2.8 - Aproveitamento da energia solar [8]

O ângulo de incidência dos raios solares na Terra varia com a declinação e com a posição da Terra face ao Sol, variando também a altura do Sol ao longo do ano, como é mostrado na Figura 2.9.

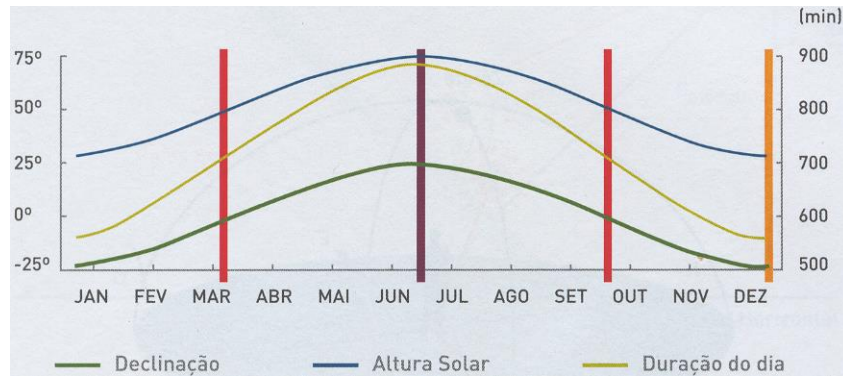


Figura 2.9 - Variação da altura do Sol [8]

A irradiação solar, recebida numa superfície, depende da irradiação incidente, da época do ano e do ângulo de inclinação do painel, como apresentado na Figura 2.10.

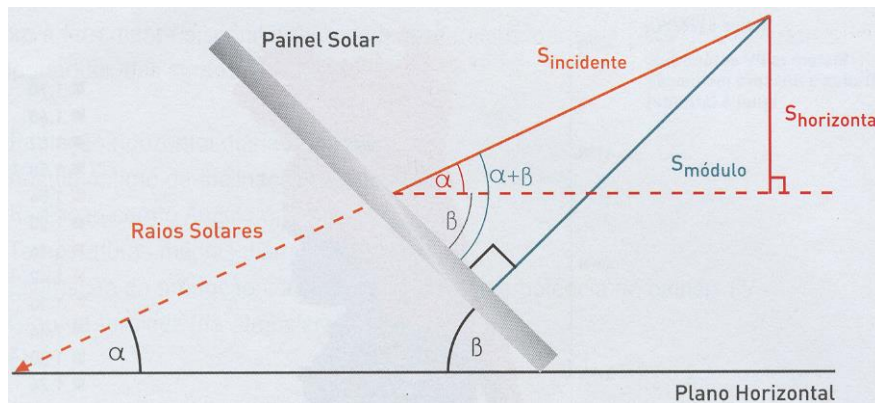


Figura 2.10 - Irradiação incidente num painel [8]

Com a inclinação de um painel solar fotovoltaico na horizontal (maior ângulo de incidência) obtêm-se melhores resultados que com a colocação vertical. Há uma inclinação intermédia com maior eficiência, a 90 graus, sendo este o ângulo ótimo.

Para cada dia e em função da estação do ano, variam assim a irradiação solar, a declinação e o ângulo ótimo. Nos sistemas fixos, utiliza-se um ângulo ótimo que é o valor médio anual. No hemisfério norte, os painéis devem estar orientados a sul e no sul orientados a norte.

Estão quantificados, a nível internacional, os valores médios da irradiação recebida, por local, à superfície da Terra, mostrados na Figura 2.11.

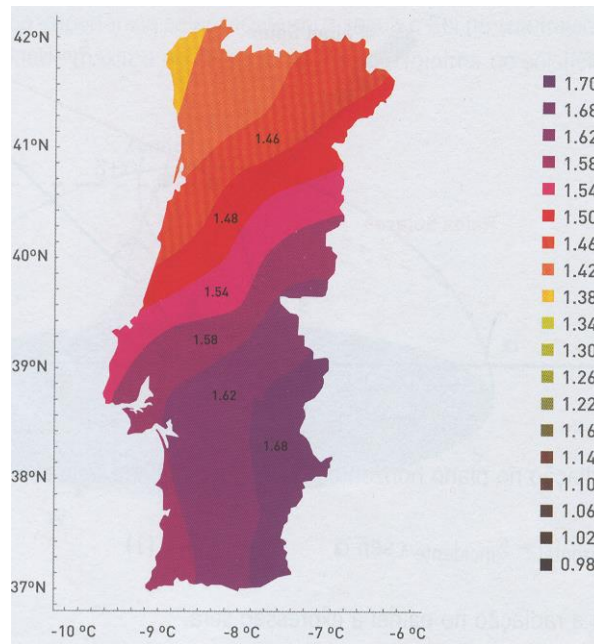


Figura 2.11 - Valores médios de energia recebida em Portugal continental [8]

Através de ferramentas disponíveis na internet, podemos determinar, para um dado local, todos os parâmetros importantes abordados anteriormente. Um exemplo é o sítio comunitário JRC (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) criado no âmbito de um projeto financiado pela da comissão europeia., apresentado na Figura 2.12, onde se pode determinar um conjunto de indicadores importantes como a irradiação horizontal diária e mensal, o ângulo ótimo da inclinação dos painéis (mensal), a irradiação com o ângulo ótimo, as temperaturas médias diárias e mensais, a estimação da produção com determinado tipo e potência de painéis e o grau de turbidez¹ da atmosfera.

¹ Turbidez – propriedade de absorção e reflexão da luz

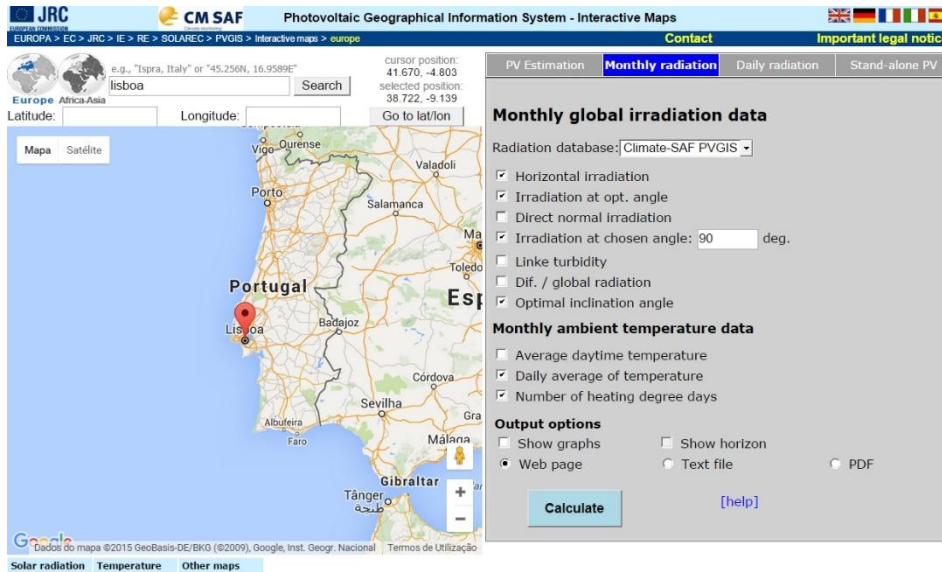


Figura 2.12 - Sítio de cálculo da irradiação solar [11]

2.3. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel em 1839, consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor produzida pela absorção de luz.

Em 1876 foi concebida a primeira célula fotovoltaica e em 1956 iniciou-se a produção industrial de células fotovoltaicas, muito impulsionada pela indústria espacial.

A crise energética de 1973 aumentou o interesse em aplicações terrestres e, em 1978, a produção industrial atingiu a marca de 1 MW por ano. Em 1998, a produção mundial atingiu os 150 MW por ano sendo o silício o material usado quase na totalidade dos equipamentos.

Os materiais semicondutores possuem uma banda de valência totalmente preenchida por eletrões e uma banda de condução vazia. Os fotões na faixa de luz visível com energia superior à diferença entre estas bandas podem excitar os eletrões da banda de valência para a banda de condução.

O silício possui quatro eletrões de valência que se ligam aos átomos vizinhos através de ligações covalentes formando uma rede cristalina. Um cristal de silício puro não contém eletrões livres, o que o torna um mau condutor elétrico, Figura 2.13.

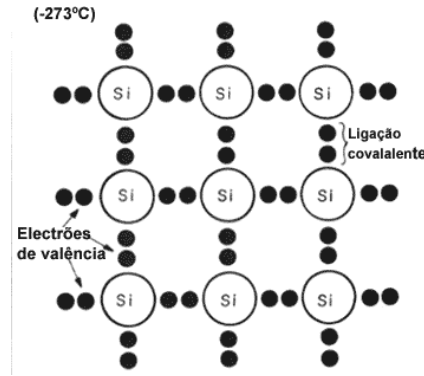


Figura 2.13 - Rede de átomos de silício [12]

Se adicionarmos átomos com cinco eletrões de ligação, como o arsénio, haverá um eletrão em excesso, fracamente ligado ao átomo. Assim, pode ser deslocado facilmente para a banda de condução, sendo o arsénio chamado de dopante doador de eletrões do tipo *N*, Figura 2.14.

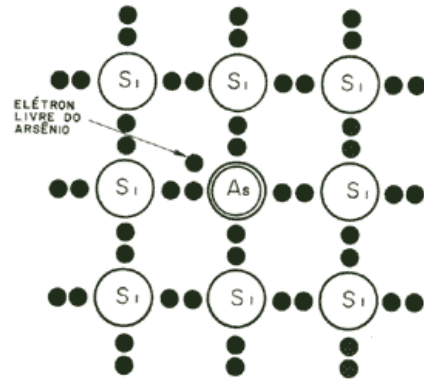


Figura 2.14 - Dopagem do tipo N [12]

Se adicionarmos átomos com três eletrões de ligação, Figura 2.15, como o índio, haverá um eletrão em falta, uma lacuna. Assim, com pouca energia pode deslocar um eletrão de uma região vizinha para esta, sendo o índio chamado de dopante recetor de eletrões do tipo *P*.

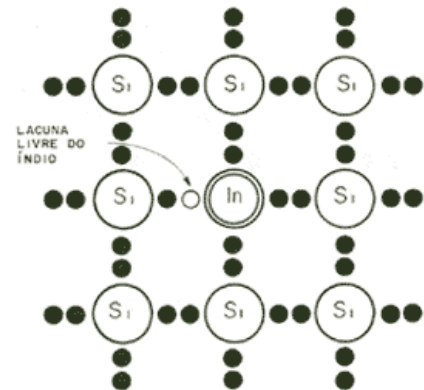


Figura 2.15 - Dopagem do tipo P [12]

Existe, à temperatura ambiente, energia suficiente para que praticamente todos os eletrões em excesso sejam libertados e para que todas as lacunas se possam deslocar.

Utilizando duas pastilhas de silício puro, introduzindo, numa, átomos de strômbio, e noutra átomos de alumínio, forma-se uma junção *PN*. Os eletrões livres do lado *N* migram para o lado *P*. Este processo atinge o equilíbrio quando o campo elétrico impede a passagem de eletrões do lado *N* como mostra a Figura 2.16.

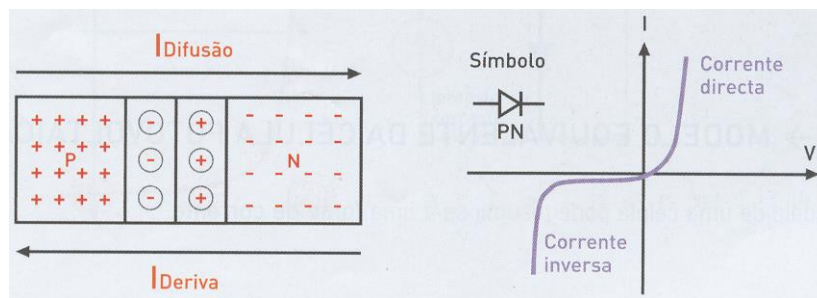


Figura 2.16 - Junção PN e curva característica [8]

Em condições normais, a potência máxima de uma célula de silício é demasiado baixa para a maior parte das aplicações domésticas ou industriais, então, os painéis fotovoltaicos são o resultado de associações, em série ou paralelo, de um conjunto de células elementares. A associação em série aumenta a tensão dos seus terminais, mantendo a corrente enquanto na associação em paralelo acontece o inverso.

2.4. Células Solares Fotovoltaicas

Uma célula fotovoltaica é um dispositivo elétrico, que converte a energia luminosa em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico e o seu funcionamento é semelhante ao de um diodo fotossensível. Os tipos de células mais comuns baseiam-se neste efeito, que ocorre quando a luz incide sobre duas camadas de material semicondutor, criando uma diferença de potencial entre elas. Esta tensão causa a passagem de corrente através de um circuito externo, Figura 2.17.

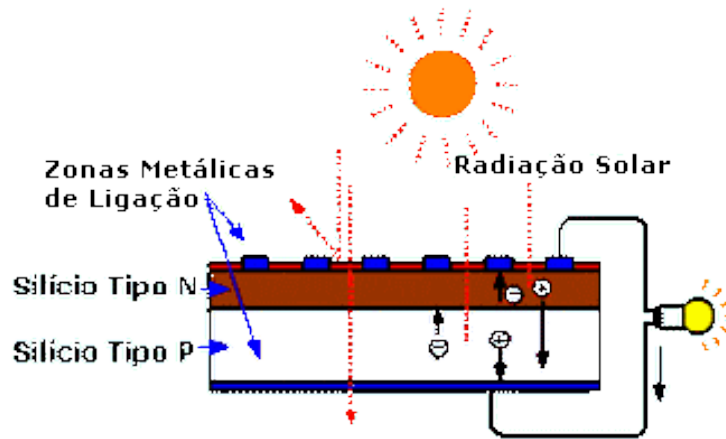


Figura 2.17 - Efeito fotovoltaico [13]

A célula é composta por uma camada *N* com um excesso de eletrões e uma camada *P* com um défice de eletrões, havendo assim uma tensão entre as duas camadas. Ao captarem a energia dos fotões, os eletrões saltam a barreira de potencial criando uma corrente contínua. Para a condução desta corrente existem dois eléctrodos nas camadas do semiconductor. O eléctrodo superior é em forma de grelha para permitir a passagem dos raios de luz e sobre este é colocada uma camada antirreflexo para maximizar a quantidade de luz absorvida.

O modelo equivalente de uma célula fotovoltaica pode resumir-se ao circuito da Figura 2.18.

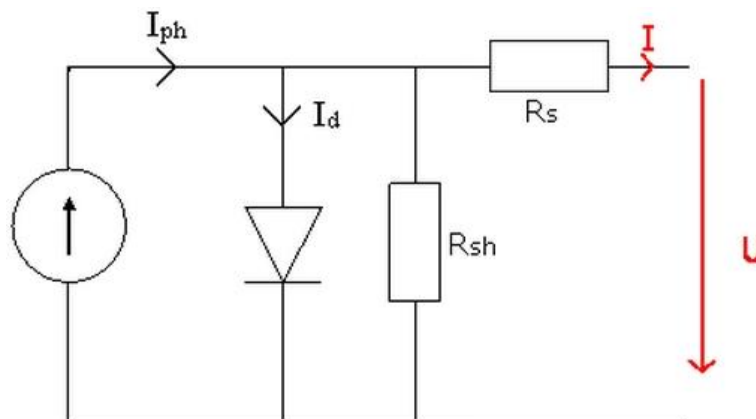


Figura 2.18 - Modelo equivalente da célula fotovoltaica [14]

Pode, então, dizer-se que a célula se comporta como um diodo quando escurecida e como uma fonte de corrente quando iluminada.

O material, normalmente utilizado nestes dispositivos, é o silício (segundo material mais abundante na Terra), presente nos tipos mais frequentes:

- Silício monocristalino: representa a primeira geração e tem um rendimento elevado (12% a 16%), mas envolve técnicas de processamento complexas e de elevado custo.

- Silício policristalino: tem um custo inferior ao referido anteriormente e também um rendimento mais baixo (11% a 13%) devido à imperfeição do cristal causada pelo sistema de fabrico.
- Silício amorfo: com um custo ainda mais baixo e, também, um rendimento inferior (8% a 10%), mas a vantagem de ser muito fino.

Na Figura 2.19 são apresentados estes três tipos.

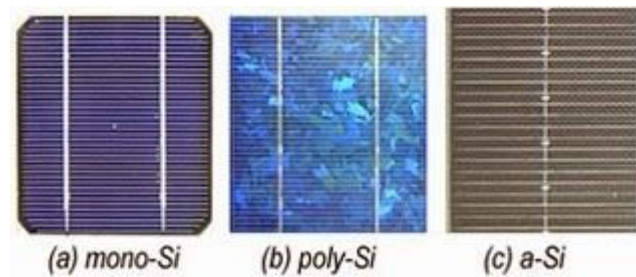


Figura 2.19 - Células fotovoltaicas [15]

A curva característica de funcionamento de uma célula fotovoltaica está expressa na Figura 2.20. A corrente mantém-se constante desde o curto-circuito até um valor da resistência de carga de aproximadamente $0,25 \Omega$, diminuindo abruptamente acima desse valor. Em circuito aberto, a corrente direta é zero e a tensão máxima é $0,6 \text{ V}$.

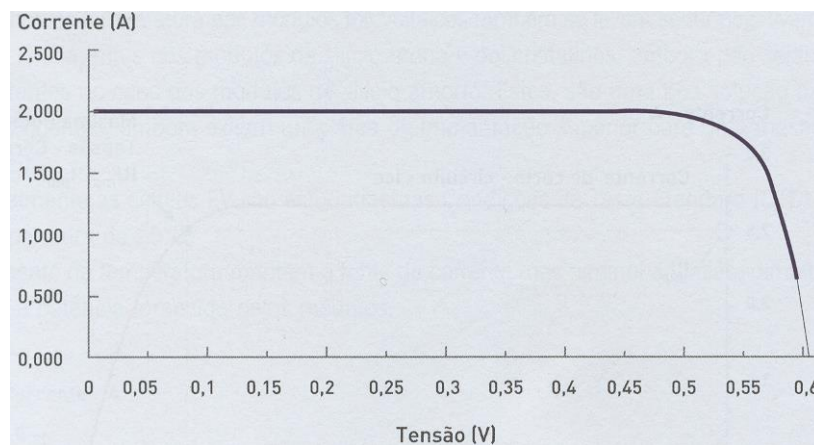


Figura 2.20 - Curva característica de uma célula fotovoltaica [8]

As células são ligadas em série para aumentar a tensão., Figura 2.21.

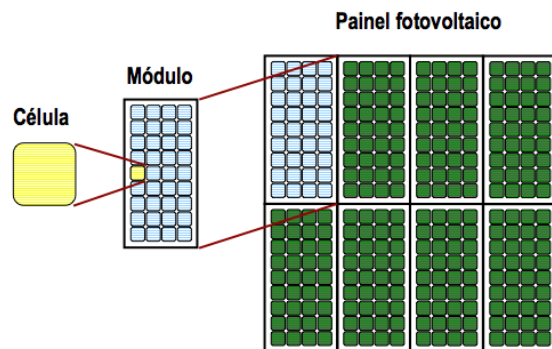


Figura 2.21 - Célula, módulo e painel fotovoltaicos [16]

Estes módulos, na sua construção, são dotados de meios que lhes permitam resistir a condições ambientais adversas como mostra a Figura 2.22.

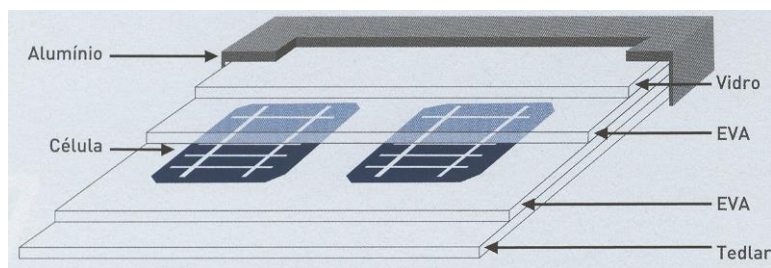


Figura 2.22 - Constituição de um módulo fotovoltaico [8]

A eficiência dos módulos fotovoltaicos é afetada pelo aumento da temperatura, especialmente os monocristalinos e policristalinos, pois diminui a tensão. A humidade e o vento também afetam negativamente o seu desempenho. A humidade tem um efeito bastante negativo no funcionamento dos painéis, podendo chegar a quedas de 30% no desempenho [17] [8].

Normalmente as células são estudadas à temperatura de 25 °C.

A Figura 2.23 representa a curva característica de um módulo fotovoltaico em função das diversas radiações solares (dependendo do dia do ano e das respetivas condições climáticas). O conhecimento destas curvas é importante para um melhor aproveitamento possível dos sistemas fotovoltaicos.

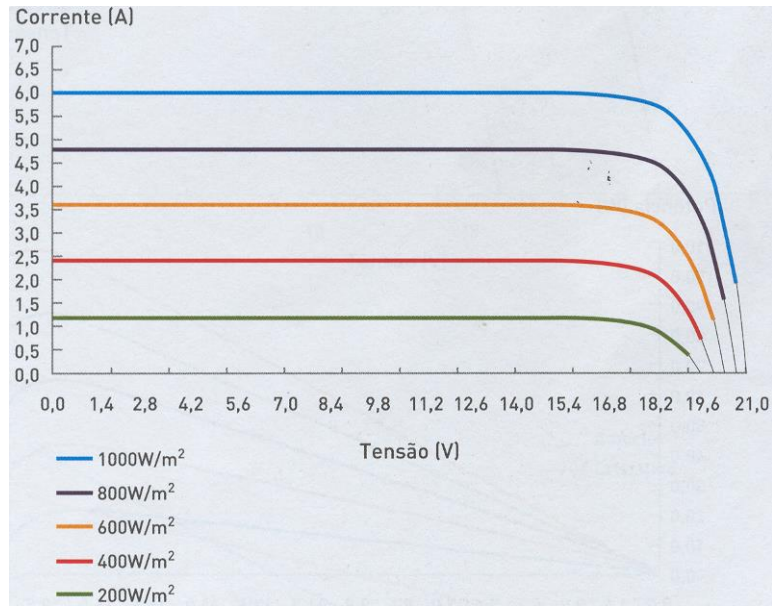


Figura 2.23 - Curvas características de um módulo fotovoltaico [8]

A curva característica de potência de um módulo fotovoltaico pode ser visualizada na Figura 2.24.

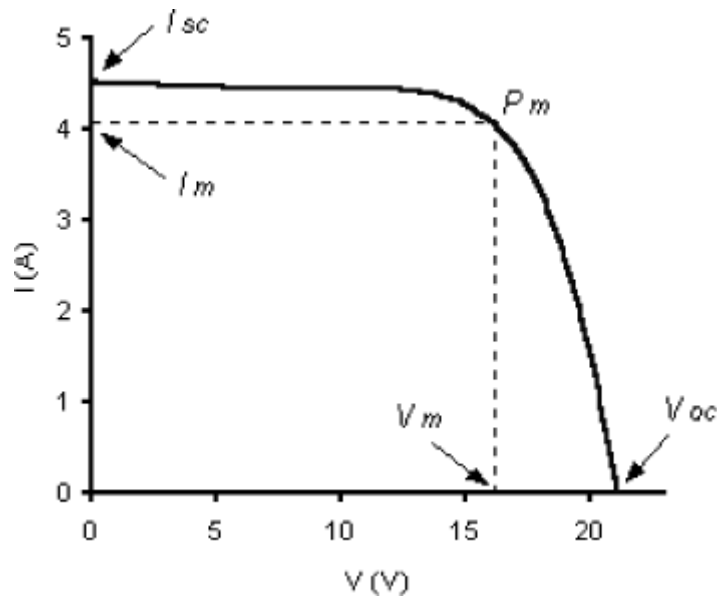


Figura 2.24 - Curva característica de potência de um módulo fotovoltaico [18]

As curvas características de potência em função da irradiação estão representadas na Figura 2.25.

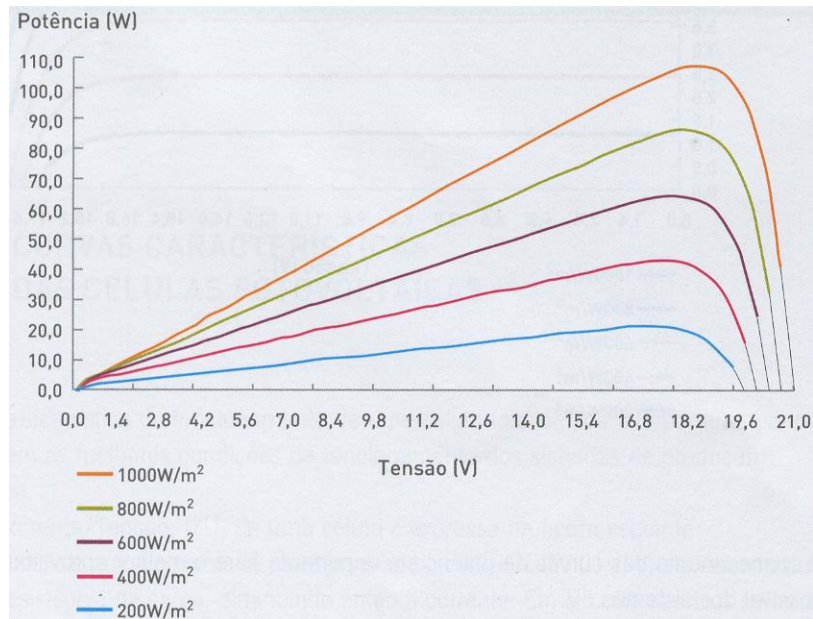


Figura 2.25 - Curvas características de potência função da irradiação [8]

2.5. Sistemas Solares Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são de fácil manutenção e permitem a modularização da geração elétrica. Além disso, possuem um longo período de vida útil (com uma degradação de aproximadamente 1% a cada ano) e, juntamente com a utilização de baterias, podem armazenar eletricidade para utilização nos horários de pico, onde as tarifas são mais caras (no caso das tarifas horo-sazonais) [19] [20].

Os sistemas de energia solar termoeletrônicos, através das suas superfícies refletivas, usam o calor dos raios do Sol para aquecer um recetor que contém um fluido trocador de calor. O fluido aquecido passa por diversos trocadores de calor, gerando vapor superaquecido, que será usado para gerar eletricidade numa turbina ou numa outra máquina térmica, como o motor Stirling (usado com discos parabólicos). Controlos mecânicos permitem que os coletores se movam lentamente de forma a manter a irradiação centralizada no recetor [21].

2.6. Tecnologia Solar Fotovoltaica em Portugal

O objetivo, em Portugal, para a quota de energia renovável é, em valores brutos, 31% até 2020. Para o atingir, o alvo estabelecido para o sector elétrico é uma capacidade total de 15800 MW, perfazendo 60% da total instalada, na qual a energia solar deve contribuir com 720 MW [22].

A Figura 2.26 mostra um exemplo de um conjunto de painéis fotovoltaicos em Estarreja.



Figura 2.26 - EDP Renováveis (Estarreja 2MW) [22]

Em 2014 foram adicionados 107 MW em painéis fotovoltaicos, aumentando a capacidade total para 392 MW como mostra o gráfico da Figura 2.27. A maior parte desta capacidade, 88 MW, foi ligada através da estrutura Independent Power Producer, uma entidade não pública que produz energia elétrica para vender [22].

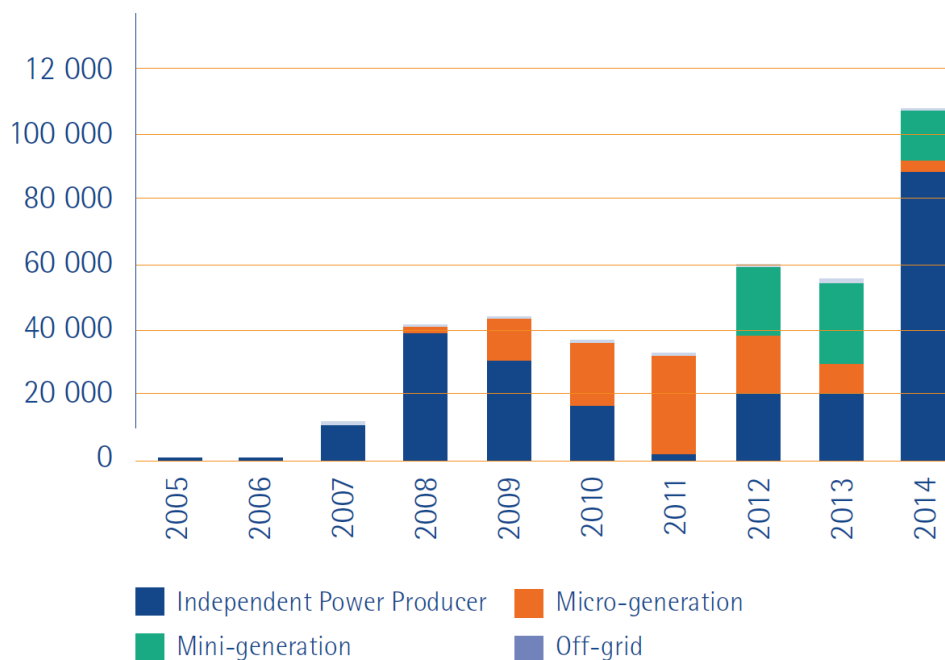


Figura 2.27 - Nova capacidade fotovoltaica instalada em Portugal (kW) [22]

A investigação fotovoltaica em Portugal está dividida em vários campos e instituições. A Universidade do Minho e a Universidade Nova de Lisboa estão a desenvolver células de silício amorfo. A Universidade de Aveiro, o Laboratório Ibérico de Nanotecnologia (INL) e o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNES) estão a trabalhar com células de película fina de calcogeneto. Células solares sensibilizadas corantes e, numa etapa inicial, células solares de perovskita estão a ser estudadas na Universidade do Porto, Coimbra, no INL e no LNES. O Instituto Superior Técnico trabalha com células solares orgânicas [22].

Anteriormente, a energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos tinha de ser injetada na rede. Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de março e das Portarias n.º 14/2015 e n.º 15/2015, de 23 de janeiro, já é possível consumir a energia elétrica produzida.

2.7. Banda Larga Móvel

A banda larga móvel é o acesso sem fios à internet através de uma rede de telefone móvel usando um cartão SIM. Esta tecnologia usa a rede móvel para estabelecer o acesso, estando assim dependente da cobertura do local em questão. As suas velocidades de transferência de dados são, na maior parte dos casos, bastante mais baixas do que as das redes domésticas (local area networks). Têm também um preço mais elevado, dependendo do tarifário escolhido, que pode ser taxado por tempo, consumo ou ter um limite mensal, ajustado aos desejos do cliente [23].

O primeiro acesso à internet sem fios apareceu em 1991, através da segunda geração de telefones móveis (2G). Em 2001 foi lançada a terceira geração (3G) e em 2006 a quarta geração (4G). A Tabela 1 reflete esta evolução [24].

Tabela 1 - Gerações de redes móveis

1G	2G	3G	4G
Serviço de voz básico	Melhorado para voz	Projetado para voz e dados	Desenhado principalmente para dados
Protocolos analógicos	Introdução dos padrões digitais GSM e CDMA	Norma UMTS	Norma LTE
2,4 kbps	64 kbps	2 Mbps	100 Mbps

As subscrições de banda larga móvel subiram de 268 milhões, em 2007, para 2,1 mil milhões em 2013, o que reflete um crescimento médio anual de 40%. Em 2015, confirmou-se a estimativa inicial, uma cobertura de rede 3G que permite o acesso a 69% da população mundial. A Figura

2.28 mostra a percentagem de subscrições móveis por continente, bem como a diferença entre os países categorizados por grau de desenvolvimento [25].

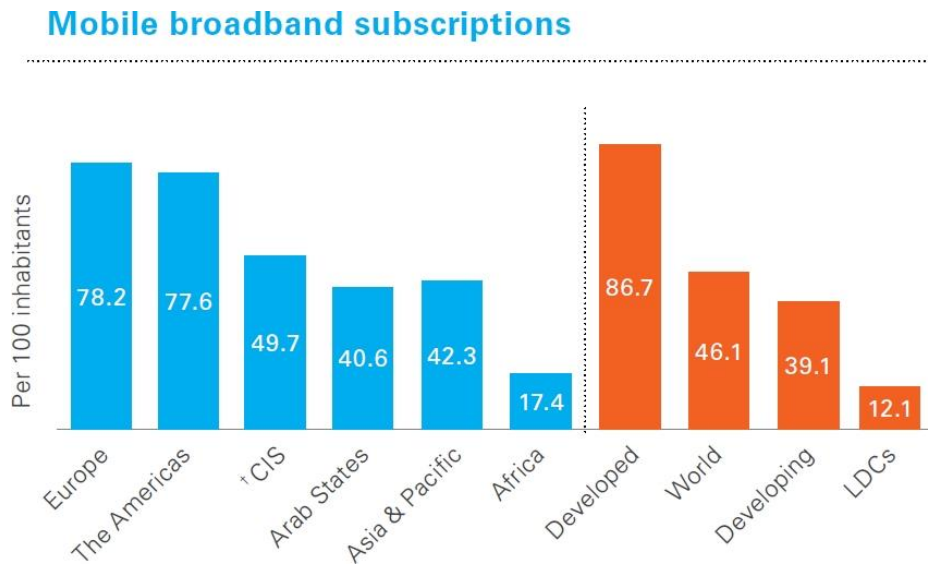


Figura 2.28 - Subscrições de banda larga móvel (a laranja a comparação por desenvolvimento económico) [26] ²

A internet móvel tem diversos benefícios como a facilidade de uso e a mobilidade permitida. O facto de poder ser usada em qualquer local faz com que seja bastante útil para casos em que a conexão de rede física não é viável. Contudo, os consumos são normalmente um problema, obrigando a cuidados na utilização, de modo a não exceder o limite definido no tarifário.

² CIS - Commonwealth of Independent States / Comunidade dos Estados Independentes

3. Implementação

Neste capítulo são mostrados os componentes físicos utilizados neste projeto, os sensores e o modem 3G, bem como o processo de criação da página web para apresentação dos resultados recebidos pelo servidor. Os esquemas dos circuitos utilizados foram desenhados através da ferramenta online *SchemeIt*. A Figura 3.29 contém o diagrama geral do hardware.

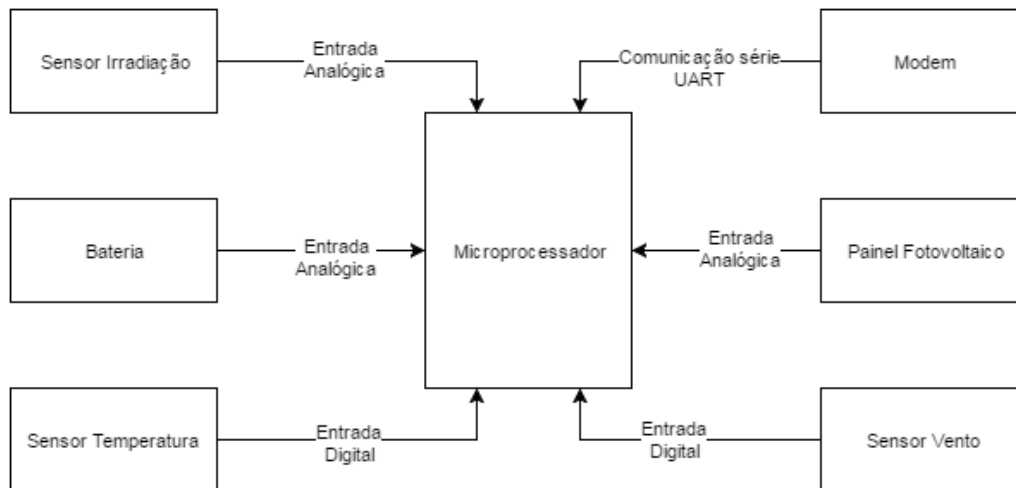


Figura 3.29 - Diagrama geral do hardware

3.1. Placa de Desenvolvimento e Microcontrolador

A placa de desenvolvimento é baseada no microcontrolador Atmega8L do fabricante *Atmel*. O desenho foi realizado no software *Orcad*. A ideologia deste desenho assenta no objetivo da flexibilidade, ou seja, construir um placa principal que acondiciona o microcontrolador e disponibiliza portas para comunicar com interfaces (outras placas específicas).

O componente ATmega8L de 8 bits, tem um baixo custo, UART, entradas analógicas (10 bits), 8 Kbytes de memória Flash, 512 Bytes de EEPROM e 1 KByte de SRAM, como mostra a Figura 3.30.

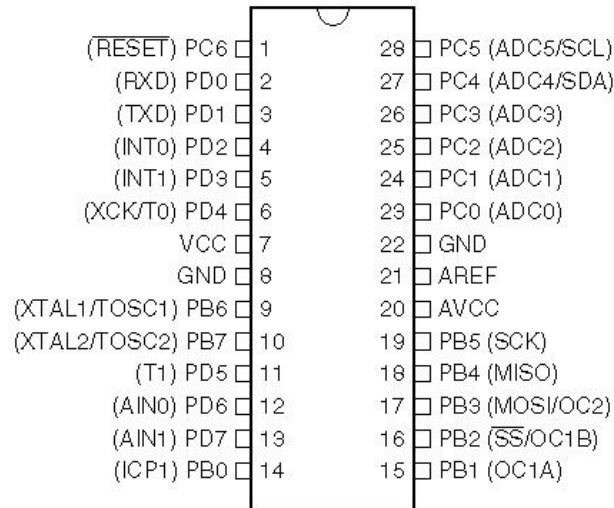


Figura 3.30 - Microcontrolador ATmega8 [27]

A placa principal disponibiliza 3 portos:

- PORTO B (6 bits: PB0, PB1, PB2, PB3, PB4, PB5)
- PORTO C (6 bits: PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5) ou entradas analógicas (ADC0, ADC1, ADC2, ADC3, ADC4, ADC5)
- PORTO D (8 bits: PD0, PD1, PD2, PD3, PD4, PD5, PD6, PD7), sendo PD0 e PD1 destinado à UART (RX e TX respetivamente)

Em suma, é possível trabalhar em simultâneo com 6 entradas analógicas e 12 entradas/saídas digitais.

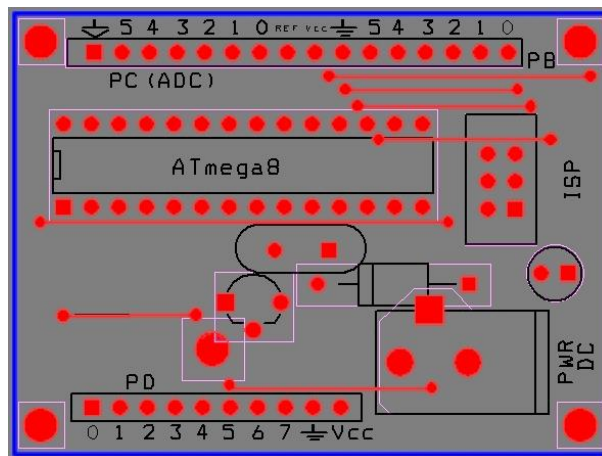


Figura 3.31 – Placa de desenvolvimento.

A Tabela 2 contém a lista de material utilizado na implementação desta placa.

Tabela 2 - Lista de material da placa de desenvolvimento

Quantidade	Designação
1	Placa de circuito impresso FR4 face simples 50mm x 40mm
5	Condensador cerâmico 100nF 10% SMD(1206)
1	Condensador cerâmico 1nF 10% SMD(1206)
2	Condensador cerâmico 2.2pF 10% SMD(1206)
1	Díodo Schottky 1N5819
1	Led 3mm
1	Conetor DC 2,5mm
5	Resistência 100k 5% SMD(1206)
5	Resistência 2.2k 5% SMD(1206)
1	Microcontrolador : ATmega8-16PU
1	Regulador de tensão 5V: TS78L05CT/TO92
1	Cristal 3.685MHz

Relativamente à alimentação está implementado um regulador de tensão standard (5 V) linear (78L05) com díodo de proteção de polaridade; assim, a gama de tensões pode variar entre 7 V a 35 V. Caso seja necessário pode trocar-se para um regulador de 3,3 V. Existe um led indicador da presença de tensão regulada na placa.

Quanto ao clock, foi selecionado mediante quatro requisitos:

- Consumo energético;
- Velocidade de processamento;
- Erro 0% para as comunicações a 9600bps (UART);
- Tempo de conversão das leituras analógicas.

Por conseguinte, foi selecionado um cristal externo de 3,6864 MHz.

O hardware de RESET é o típico, ou seja, uma resistência e um condensador sugerido pelo fabricante capaz de produzir um corte na alimentação com duração não inferior a 200 μ S; por questões de espaço, não foi colocado o tradicional botão de pressão.

No que diz respeito ao método de programação, foi utilizado o software do fabricante, *AVR Studio* e um cabo STK500 V2 cujas características são as seguintes:

- Conector USB – ligado ao computador pessoal;
- Conector ISP (In-System Self-programmable Flash program memory) – ligado à placa de desenvolvimento.

O fluxograma da Figura 3.32 descreve o desenho da programação do microcontrolador. Refira-se que todo o código assenta em interrupções, ou seja, o microprocessador apenas “acorda” aquando da interrupção do temporizador para recolher os dados relativos aos sensores e enviá-los através do modem, mantendo-se o restante tempo em poupança de energia.

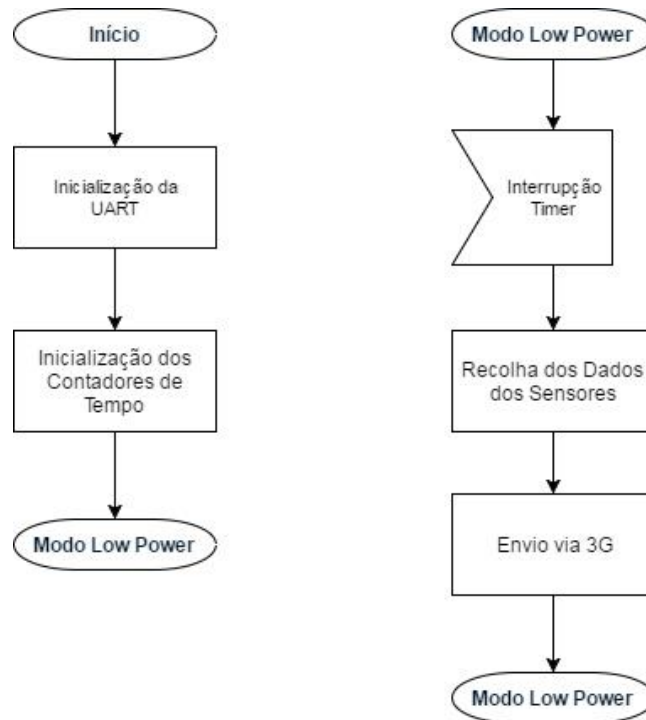


Figura 3.32 – Fluxograma do código do microcontrolador

3.2. Tensão no Painel Solar Fotovoltaico

A monitorização da tensão de saída do painel fotovoltaico é realizada com base num divisor resistivo, que é ligado a uma entrada analógica do microcontrolador.

Na Figura 3.33 está esquematizado o respetivo circuito.

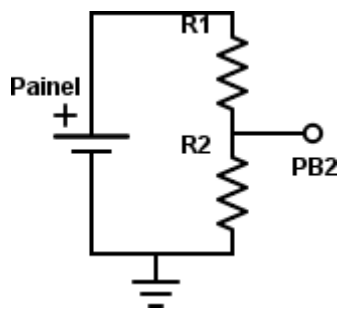


Figura 3.33 – Circuito para leitura da tensão no painel fotovoltaico

Os cálculos pressupõem quatro requisitos:

- A impedância da entrada analógica deve ser inferior a 10 k Ω (referido no *datasheet* do microprocessador para uma velocidade mais rápida de cálculo do ADC);
- Quanto maior for o valor das resistências, menor será a energia pedida ao painel, aumentando o rendimento global;
- A tensão máxima é de 30 V (para medições na ordem dos 12 V foi escolhido um valor máximo acima do dobro);
- A tensão de referência do conversor analógico-digital é de 2,56 V.

Na Figura 3.33 está esquematizado o respetivo circuito.

A relação entre as duas resistências é calculada de acordo com a fórmula do divisor resistivo:

$$2,56V = 30V * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad 3.1$$

Assim, optando por um valor de uma das resistências, será calculado o valor correspondente da outra.

$$2,56V = 30V * \frac{430\Omega}{R_1 + 430\Omega} \quad 3.2$$

Então, R_1 terá o valor de 4609 Ω .

3.3. Corrente No Painel Fotovoltaico

A leitura da corrente do painel fotovoltaico é realizada com base na queda de tensão numa resistência de baixo valor. A resistência R4 tem o valor de 0,5 Ω (duas de 1 Ω em paralelo), R3 e R5 o valor de 1 k Ω e 10 k Ω respetivamente.

Estabelecendo a corrente máxima a ser medida, 500mA neste caso, a queda de tensão em R4 será de 0,25 V. Como a corrente segue o sentido ascendente relativamente à resistência, o seu ponto inferior está ao potencial de 0 V e o superior ao de -0,25 V.

Assim, foi necessário utilizar a configuração inversora para converter a tensão negativa em positiva e também o seu máximo no valor máximo das entradas analógicas (2,5 V). O ganho será de -10.

O esquema deste circuito pode ser visualizado na Figura 3.34.

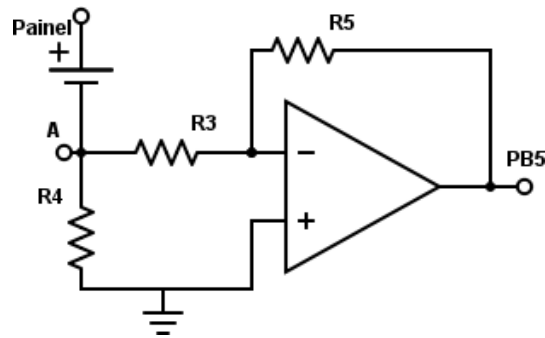


Figura 3.34 - Circuito para leitura da corrente no painel

Uma vez que a queda de tensão na resistência de leitura obriga o ponto “A” a ter uma tensão negativa, e como o valor mínimo admitido pelo amplificador operacional (LM358) é de -300 mV, foi admitida uma queda de tensão máxima para metade desse valor, ou seja, -150 mV.

3.4. Irradiação Solar

A observação da irradiação solar é feita com a utilização de uma fotoresistência (também conhecida como LDR – *Light Dependent Resistor*), que será ligada a uma entrada analógica do microcontrolador. Como a sua resistência, varia com a intensidade da luz, usando uma outra resistência fixa, implementa-se um divisor resistivo e pode ser medida a queda de tensão no componente. Na Figura 3.35 encontra-se o esquema desta medição.

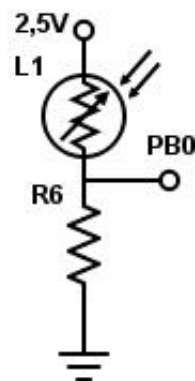


Figura 3.35 - Circuito para observação da irradiação solar

Esta característica, além de recolher informações sobre a energia solar do respetivo local, auxilia a monitorização dos painéis fotovoltaicos porque permite comparar os seus dados com a potência das células e perceber se há falhas nos painéis.

A tensão de referência, do microcontrolador, é de 2,56 V, o componente utilizado é o NSL19-M51 da empresa *Advanced Photonix* e a resistência R6 tem o valor de 470 Ω .



Figura 3.36 - Fotoresistência NSL19-M51 [28]

As características elétricas são mostradas na Figura 3.37.

Electrical Characteristics ($T_A=25^\circ\text{C}$, source at 2854°K)(2)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max.	Units	Test Conditions
R_L	Light Resistance	20		100	$\text{K}\Omega$	10 lux
			5		$\text{K}\Omega$	100 lux
R_D	Dark Resistance	20			$\text{M}\Omega$	10 sec after removal of light
λ_p	Peak spectral wavelength		550		nm	
Γ	Gamma		0.7			1 - 10 Lux
Γ	Gamma		0.7			10 - 100 Lux

Figura 3.37 – Características elétricas da fotoresistência NSL19-M51 [28]

Devido ao facto de não ser fornecida a correspondência entre o valor da resistência e a irradiação solar, foi necessário encontrar a curva que relaciona essas duas grandezas. A calibração decorreu do seguinte modo: foi feita a medição da resistência da LDR (com ohmímetro) em simultâneo com o valor apresentado no monitor do dispositivo de medição de irradiação solar TM-208 do fabricante Tenmars.



Figura 3.38 - TM-208

O esquema elétrico implementado já com o microcontrolador pode ser visto na Figura 3.39

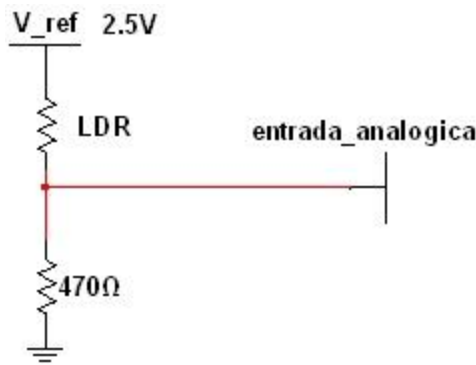


Figura 3.39 - Esquema da calibração do LDR

Onde:

$$Ganho = \frac{470}{470 + LRD} \quad 3.3$$

Então:

$$Valor\ ADC = Ganho * 1023 \quad 3.4$$

A Tabela 3 representa a relação entre a energia solar e o valor do ADC. Refira-se que foram obtidos valores múltiplos de cem, para a irradiação, através do afastamento ou aproximação à perpendicular ao Sol.

Tabela 3 - Calibração do LDR

Irradiação (W/M ²)	Resistência da LDR (Ohms)	Ganho	Valor ADC [0 a 1023]
100	437	0,518192	530
200	350	0,573171	586
300	309	0,603338	617
400	284	0,623342	638
500	266	0,638587	653
600	253	0,650069	665
700	243	0,659187	674
800	233	0,668563	684
900	225	0,676259	692
1000	220	0,681159	697

O resultado gráfico desta tabela pode ser visto na Figura 3.40.

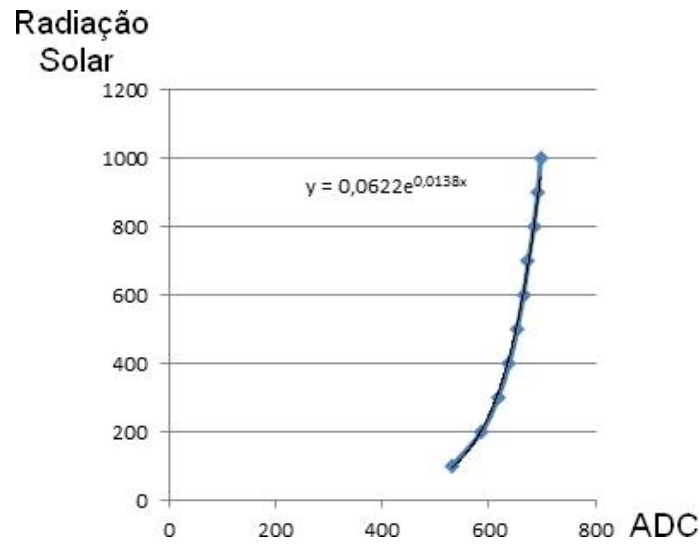


Figura 3.40 - Gráfico da calibração do LDR

3.5. Temperatura

A medição da temperatura é feita através de um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*, cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é negativo, ou seja, a resistência diminui com o aumento da temperatura).



Figura 3.41 - Exemplo de um termistor NTC [29]

O circuito utilizado para este sensor, representado na Figura 3.42, é idêntico ao utilizado na irradiação solar, sendo também um divisor resistivo, ligado a outra entrada analógica do microcontrolador. A tensão de referência, do microcontrolador, é de 2,56 V e o componente utilizado tem 10 k Ω de resistência e um valor de 3950 para a constante do material, conforme fornecido pelo vendedor.

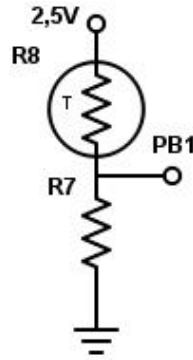


Figura 3.42 - Circuito para medição da temperatura

O cálculo da resistência do termístor é descrito através das equações seguintes, partindo da equação de Steinhart–Hart [30].

$$\frac{1}{T} = A + B * \ln(R) + C * [\ln(R)]^3 \quad 3.5$$

Onde:

T – temperatura (em Kelvin).

R – resistência à temperatura T (em Ohms).

A; B e C – coeficientes de Steinhart–Hart (que dependem do termístor e do intervalo de temperaturas).

Para o termístor utilizado, a expressão será a da equação seguinte:

$$R = R_0 * e^{-\beta (\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})} \quad 3.6$$

Onde:

T₀ – temperatura de referência (em Kelvin).

β – Constante do material.

R₀ – resistência à temperatura de referência (em Ohms).

Utilizando os valores de 10kΩ para a temperatura de 25°C (25+273,15K), com o valor de 3950 para β.

$$R = 10000 * e^{-3950 (\frac{1}{298,15} - \frac{1}{T})} \quad 3.7$$

Na Figura 3.43 é possível ver a curva da equação anterior.

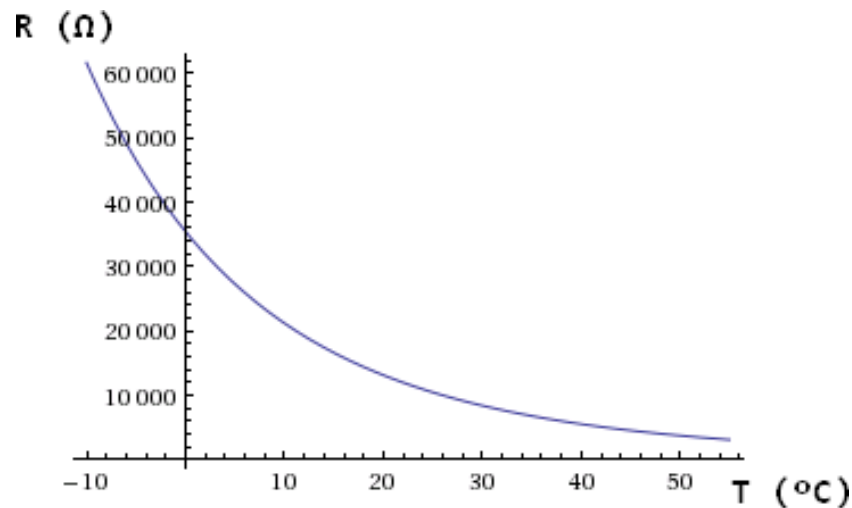


Figura 3.43 - Relação entre temperatura e resistência

A dedução da expressão matemática que converte a resistência da NTC em graus centígrados, passando pelo divisor de tensão e conversor analógico-digital, foi feita recorrendo à medição da temperatura e posterior comparação com os valores dados pelo NTC. Foi utilizado o método da regressão linear.

Na Tabela 4 estão os valores utilizados neste processo. As colunas representam, respetivamente, o valor do ADC e a sua tensão, a resistência utilizada, o valor do NTC e a constante do material seguida pela temperatura medida através de outro aparelho, a temperatura medida pelo sensor e a diferença entre as duas (erro).

Tabela 4 – Conversão do NTC

ADC	U (V)	R (Ω)	NTC (Ω)	β	T1 (°C)	T2 (°C)	Erro
150	0,366323377	10000	58245,71279	3950	-10	-9	1
190	0,462739762	10000	44026,04669	3950	-5	-5	0
235	0,573123659	10000	33620,60372	3950	0	-1	1
285	0,6959027	10000	25924,56242	3950	5	4	1
339	0,828512028	10000	20174,57702	3950	10	9	1
396	0,967599068	10000	15837,14766	3950	15	14	1
454	1,109369361	10000	12535,32581	3950	20	20	0
512	1,25	10000	10000	3950	25	25	0
568	1,386028996	10000	8037,140687	3950	30	31	1
620	1,514643777	10000	6505,531126	3950	35	36	1
669	1,633830288	10000	5301,466859	3950	40	40	0
714	1,742386504	10000	4348,13685	3950	45	45	0
754	1,839833977	10000	3588,182582	3950	50	48	2
789	1,926272179	10000	2978,435896	3950	55	52	3

Construindo o gráfico, na Figura 3.44, pode ver-se o pequeno erro deste sensor e a aproximada linearidade dos resultados. A curva vermelha corresponde à reta obtida através da regressão linear e a curva azul à função após a atuação do divisor de tensão.

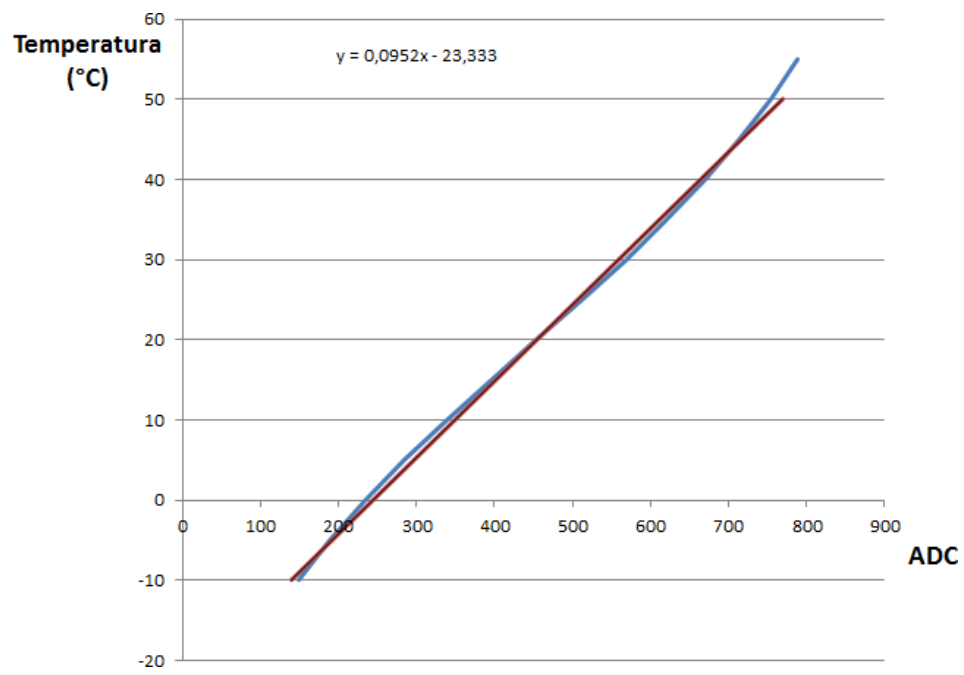


Figura 3.44 – Gráfico da conversão do NTC

3.6. Tensão Na Bateria

O método utilizado na monitorização da tensão na bateria é semelhante ao do painel fotovoltaico, bem como os requisitos para os cálculos:

- A impedância da entrada analógica deve ser inferior a 10 kΩ (para uma velocidade mais rápida de cálculo do ADC);
- A tensão máxima será de 10 V para uma bateria de 6 V;
- A tensão máxima será de 20 V para uma bateria de 12 V;
- A tensão de referência do conversor analógico-digital é de 2,56 V.

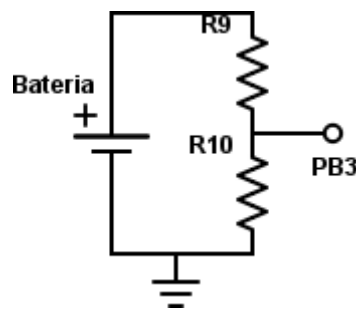


Figura 3.45 – Circuito para leitura da tensão na bateria

Novamente, optando por um valor de uma das resistências, será calculado o valor correspondente da outra. Se, por opção, for usada uma resistência R_9 com o valor de 4,7 kΩ, para uma bateria de 6 V, o valor da correspondente R_{10} é calculado na equação seguinte:

$$2,56V = 10V * \frac{R_{10}}{4700 + R_{10}} \quad 3.8$$

Então, R_{10} terá o valor de 1617,2 Ω.

A conseqüente impedância do divisor resistivo é calculada através da equação seguinte:

$$R_{th} = \frac{R_{10} * R_9}{R_{10} + R_9} = \frac{1617,2 * 4700}{1617,2 + 4700} = 1203,2\Omega \quad 3.9$$

3.7. Corrente na Bateria

Neste caso, o método difere do utilizado para o painel, pois a corrente circula nos dois sentidos. Assim, a tensão no ponto “B” será positiva, quando a bateria estiver a fornecer energia, ou negativa, quando a bateria estiver a ser carregada.

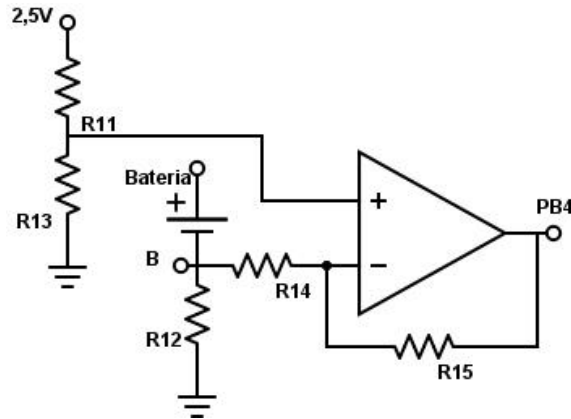


Figura 3.46 – Circuito para leitura da corrente na bateria

Para ser possível medir a corrente nos dois sentidos, a resolução do microcontrolador é reduzida para metade, ou seja, dos 1024 valores possíveis (correspondentes aos 10 bits do ADC), usam-se 512 para cada sentido.

A expressão desta montagem é a seguinte:

$$\left(1 + \frac{R_{15}}{R_{14}}\right) * 2.5 * \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{11}} - B * \frac{R_{15}}{R_{14}} \quad 3.10$$

O pino de entrada toma os seguintes valores (aproximados):

- 1,25 V quando a corrente na bateria é nula;
- 2,5 V quando a corrente de fornecimento é 500 mA;
- 0 V quando a corrente de carga é 500 mA.

3.8. Vento

Para a medição do vento foram adquiridas duas peças usadas em estações meteorológicas, apresentadas na Figura 3.47. Depois de desmanteladas, foi retirado todo o material eletrónico e substituído por sensores de Efeito Hall.



Figura 3.47 - Peças adquiridas para medição da intensidade e direção do vento

Para medir a direção do vento são usados oito sensores de Efeito Hall, correspondentes aos quatro pontos cardeais (norte, sul, este/leste e oeste) e às quatro orientações intermédias (nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste). O componente utilizado é o sensor AH3144.



Figura 3.48 - Sensor AH3144 [31]

Colocando um íman permanente e solidário com o eixo de rotação do leme, e dependendo da orientação da cauda do aparelho, os dois sensores mais próximos do íman irão ficar sujeitos a uma tensão que o microcontrolador utiliza para determinar a direção.

Os pinos do microcontrolador, onde são ligados estes sensores, têm a resistência de pull-up ligada, uma vez que a saída do sensor é em coletor aberto [32].

Na Figura 3.49 encontra-se a montagem deste dispositivo.

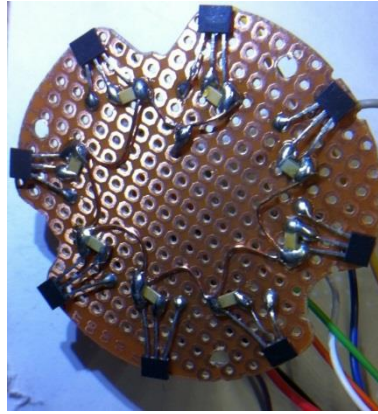


Figura 3.49 - Montagem para medição da direção do vento

É possível apresentar resultados para as oito direções, o número dos pontos representados pelos sensores, ou seja, utilizar a informação enviada pelo sensor que se encontra virado para o íman. Apenas com um íman mais largo seria possível ter dois sensores em simultâneo com o valor lógico “1”, ou seja, a detetarem o campo do íman, sendo possível também fazer leituras intermédias. Neste dispositivo apenas se pode ter um sensor.

Na Figura 3.50 encontram-se as direções possíveis.

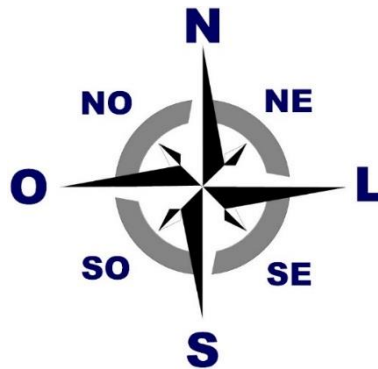


Figura 3.50 - Direções do vento [33]

As ligações aos pinos do microcontrolador são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Ligações do sensor de direção do vento

PD2	N
PD3	NE
PD4	E
PD5	SE
PD6	S
PD7	SO
PB0	O
PB1	NO

Quando o sensor deteta a presença do íman, o seu transístor interno fecha e o pino do microcontrolador recebe o estado lógico “0”. Então, o ponto para o qual o vento sopra terá nível lógico “0” e os restantes nível lógico “1”.

No caso da medição da velocidade do vento, é utilizado apenas um sensor de Efeito de Hall e um íman. Na Figura 3.51 é possível ver a sua montagem.

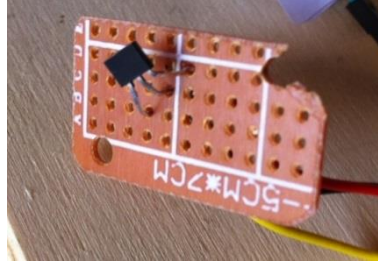


Figura 3.51 - Montagem para medição da velocidade do vento

O dispositivo roda com uma velocidade dependente da força aplicada pelo deslocamento do ar. O microcontrolador deteta cada vez que o sensor passa pelo íman e converte isso numa velocidade.

O algoritmo é uma rotina que ocorre 1800 vezes por segundo, ou seja, a cada 556 μ s verifica o estado do pino PB2. Quando há uma transição de estado, de “0” para “1”, uma variável que serve de contador é posta com o valor zero. A cada 556 μ s é incrementado o valor dessa variável e, quando há outra transição positiva, esse valor é guardado noutra variável, sendo assim proporcional às rotações por minuto do eixo. Os cálculos são explicados nas equações seguintes.

A conversão de ciclos por segundo para rotações por minuto (RPM):

$$1 \text{ ciclo/segundo} = 60 \text{ RPM} \quad 3.11$$

Se, por exemplo, a velocidade do vento for de 6000 RPM, então serão 100 ciclos a cada segundo. Então:

$$\frac{100 \text{ ciclos}}{1 \text{ segundo}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{0,01 \text{ segundos}} \quad 3.12$$

Assim, em 10 milissegundos, a variável será incrementada 18 vezes.

$$\frac{10 \text{ ms}}{556 \mu\text{s}} \approx 18 \quad 3.13$$

A cada transição positiva, depois de ser guardado noutra variável, é também reinicializado o valor desta variável.

3.9. Modem

Para estabelecer a ligação sem fios foi adquirido um modem 3G, que utiliza um cartão SIM para envio dos dados. A comunicação entre este dispositivo e o servidor é feita com comandos Hayes (ou AT) e entre o dispositivo e o microcontrolador é feita através da comunicação série UART.

O modem, oferece um conjunto de comandos AT para aplicações IP. Entre eles se destaca a sessão HTTP onde é possível estabelecer o parâmetro URL, sendo assim possível o envio de dados através do método GET [34]. Por conseguinte, o microcontrolador, através da UART, envia para o modem os dados em bruto, que depois são enviados para o servidor.



Figura 3.52 - Modem 3G SIM800 da SIMCOM

Apesar do módulo permitir pedidos POST foi utilizado o método GET (preferencialmente escolhido em casos de transferência de pequena quantidade de informação – máximo 1024 caracteres – ao contrário do primeiro, que não tem limite). Para enviar, por exemplo, os dados referentes a 12A e 32V da bateria seriam enviados os seguintes comandos:

```
AT+HTTTPARA="URL",  
"http://193.136.12.30/antonio/insere_dados_bateria.php?I_bateria=12&U_bateria=32"  
AT+HTTTPACTION=1
```

O fluxograma da figura seguinte descreve o processo de aquisição dos dados e envio via GSM.

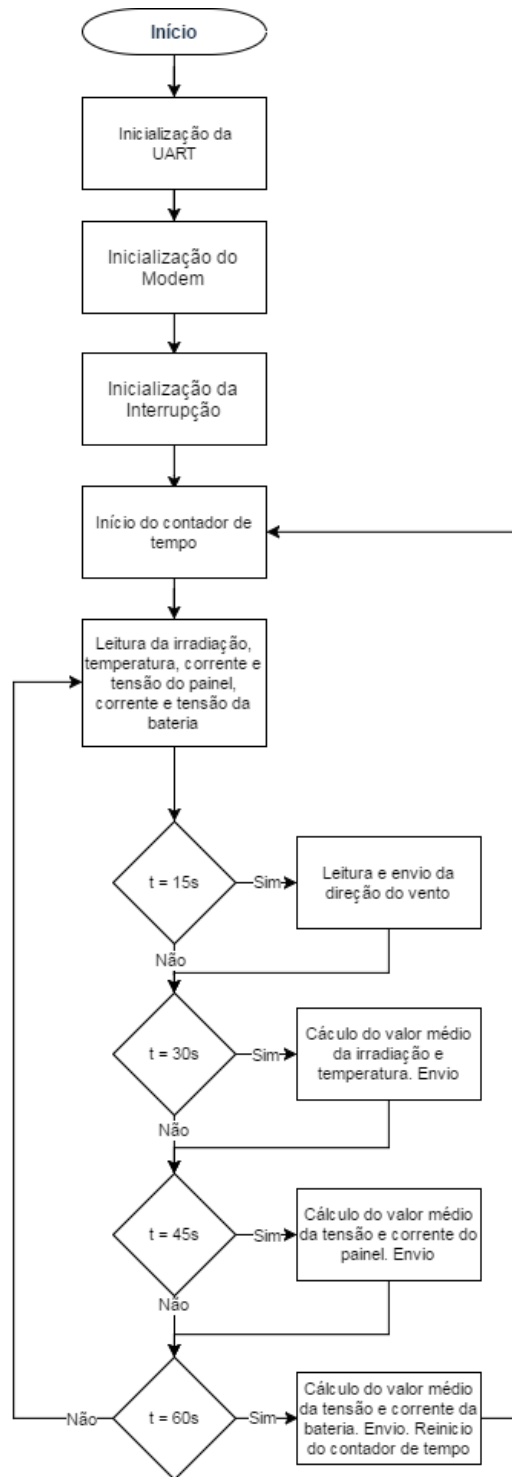


Figura 3.53 - Aquisição e envio de dados via GSM

3.10. Placa de Interface Analógico

A placa de interface analógico contém as ligações analógicas referentes à corrente e tensão, tanto do painel fotovoltaico como da bateria, e os sensores de temperatura e luminosidade.

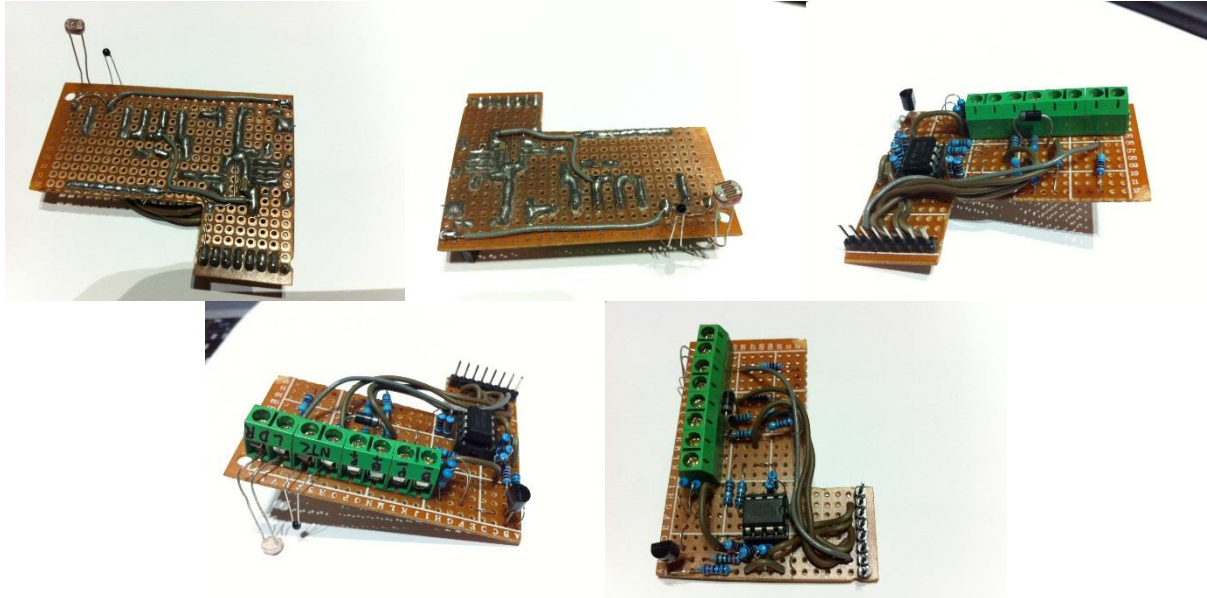


Figura 3.54 - Algumas imagens da placa de interface analógica

A Tabela 6 contém as ligações dos pinos desta placa.

Tabela 6 - Ligações da placa de interface analógico

PB5	Corrente no painel
PB4	Corrente na bateria
PB3	Tensão na bateria
PB2	Tensão no painel
PB1	Temperatura
PB0	Irradiação

O respetivo esquema é apresentado na figura seguinte.

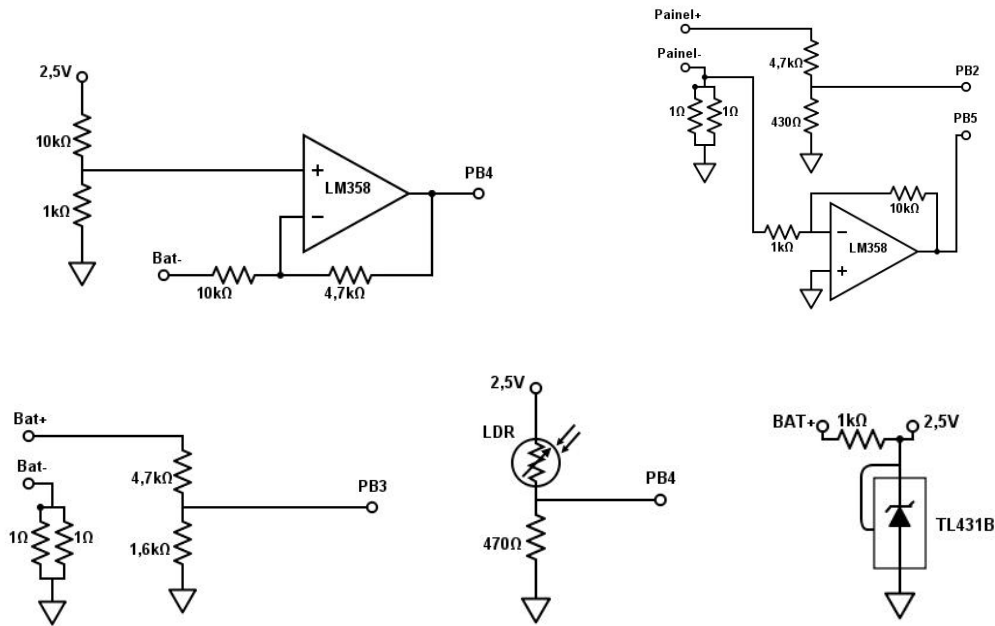


Figura 3.55 - Esquema da placa de interface analógico

3.11. Aplicação Web e Base de Dados

O sistema de gestão de bases de dados utilizado é o *MySQL* e a aplicação web foi desenvolvida na linguagem *PHP* através do ambiente de desenvolvimento *NetBeans 8.1*.

A Figura 3.56 contém o diagrama modelo da base de dados desenhado através da ferramenta online *GenMyModel*. Cada sensor é independente, por isso, não há relações entre as tabelas.



Figura 3.56 - Tabelas da base de dados

O sítio web pode ser acedido, em qualquer lugar, através do endereço "http://193.136.12.30/html/antonio/". É constituído por páginas estáticas representadas na Figura 3.57 - Organização do sítio web.

Na página inicial são mostradas as quatro opções: bateria, vento, painel e irradiação/temperatura. Cada uma das ligações aponta para uma página com a listagem dos valores contidos na base de dados, organizados numa tabela.

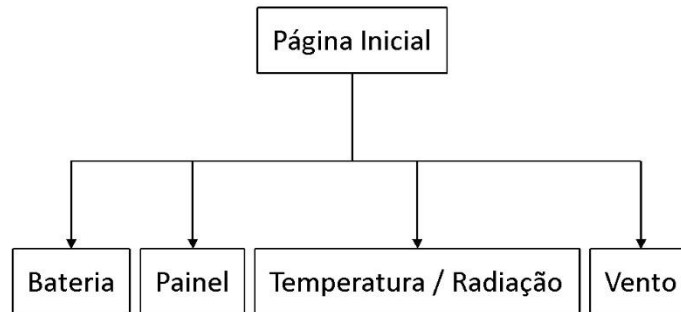


Figura 3.57 - Organização do sítio web

Ao servidor chega a URL com os dados e o nome do script que é responsável por inseri-los na base de dados.

O seguinte bloco de código é um exemplo que representa as partes principais que permitem inserir o valor da temperatura e radiação na base de dados. O código em PHP mostra que o método utilizado é o GET e os valores são passados através da URL. À exceção da direção do vento, os restantes valores são armazenados em bruto, ou seja, são valores que ao serem mostrados têm que ser manipulados matematicamente para mostrar os resultados corretos.

```

<?php
    /* ... */
    if ($_GET['radiacao']==""||$_GET['temperatura']==""){
        exit();
    }
    /* ... */
    $sql = "INSERT INTO temperatura_radiacao (radiacao, temperatura) VALUES
('$_GET[radiacao]', '$_GET[temperatura]')";
    /* ... */
?>
  
```

O seguinte código refere-se a uma parte da página que apresenta os dados da temperatura e radiação no navegador. Quando a página é carregada os dados são apresentados numa tabela e manipulados matematicamente através de uma consulta à base de dados.

```

<center>
<?php
...

// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}

$sql = "SELECT temperatura, radiacao, tempo FROM temperatura_radiacao";
$result = $conn->query($sql);

if ($result->num_rows > 0) {
    // output data of each row
    echo "<strong>TEMPERATURA / RADIAÇÃO</strong> </tr>
    <table border = '1'> <tr bgcolor='#F2F2F2'> <strong>
    <th>Temperatura</th>
    <th>Radiação</th>
    <th>Data</th>
    </strong> </tr> ";

    while($row = $result->fetch_assoc()) {
        echo "<tr align='center'> <td>" . round(0.0928*$row["temperatura"]-21.8,0). "</td>"
        .
        "<td>" . round((6*0.0622*exp(0.0138*$row["radiacao])),2). "</td>" .
        "<td>" . $row["tempo_temperatura_radiacao"]. "</td> </tr>"
        ;
    }
    echo "</table>";
} else {
    echo "0 results";
}
$conn->close();
?></center>

```

A exportação do ficheiro *.csv é realizada com um botão que executa o script indicado no bloco seguinte.

```

<?php
...

// Create connection
$conn = new mysqli($nome_servidor_sql, $nome_utilizador_sql, $palavra_pass_sql, $nome_bd);

// output headers so that the file is downloaded rather than displayed
header("Content-Type: text/csv; charset=utf-8");
header("Content-Disposition: attachment; filename=temperatura_radiacao.csv");

// create a file pointer connected to the output stream
$output = fopen("php://output", "w");

// output the column headings
fputcsv($output, array("Temperatura", "Radiação", "Data"));

// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}

$sql = "SELECT temperatura, radiacao, tempo FROM temperatura_radiacao";
$result = $conn->query($sql);

if ($result->num_rows > 0) {
    // output data of each row
    while($row = $result->fetch_assoc()) {
        $list=array(round(0.0928*$row["temperatura"]-
21.8,0),round((6*0.0622*exp(0.0138*$row["radiacao"])),2),$row["tempo"]);
        fputcsv($output, $list);
    }
}
else {
    echo "0 results";
}
$conn->close();
?>

```

4. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, e respetivas análises, nos testes efetuados ao sistema, bem como imagens do protótipo e do sítio web.

4.1. Modelo Final do Projeto

O conjunto de imagens, apresentado na Figura 4.58, apresenta o protótipo do projeto.



Figura 4.58 - Modelo final do projeto

4.2. Sítio Web

Seguindo o IP do servidor disponibilizado e adicionando ao link o nome da pasta utilizada para os ficheiros, obtém-se a ligação onde pode ser visualizado todo o resultado deste projeto.

A página inicial é mostrada na Figura 4.59.

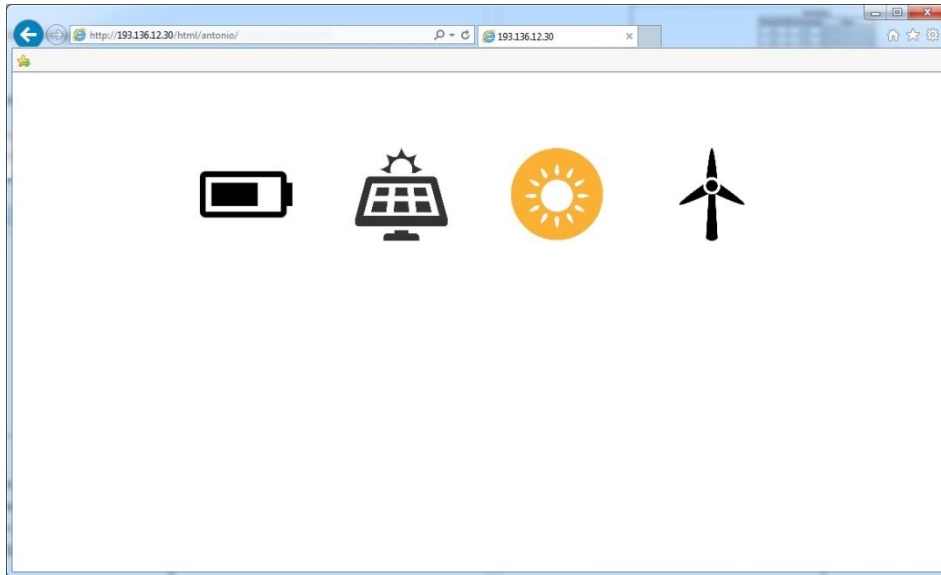


Figura 4.59 - Página web inicial

Cada um dos ícones apresentados na página corresponde a uma ligação para uma página com a listagem dos dados recolhidos, respetivamente, a bateria, o painel solar fotovoltaico, a irradiação/temperatura e o vento. Todos os dados são mostrados numa tabela e, apesar de recebidos pelo servidor a cada minuto, é necessária uma atualização da página para serem visíveis as constantes atualizações. Existe também uma opção para exportar os dados em formato “CSV” através do *browser*.

A Figura 4.60 apresenta o exemplo da bateria com os valores de tensão em Volts e a corrente em Amperes. É também apresentada a potência de saída, em Watts.

[Descarregar CSV](#)

BATERIA			
Tensão[V]	Corrente[A]	Potência[W]	Data
8.8	0.07	0.58	2016-01-25 11:34:05
8.8	0.07	0.59	2016-01-25 11:35:05
8.8	0.07	0.58	2016-01-25 11:36:02
8.8	0.06	0.57	2016-01-25 11:37:01
8.9	0.07	0.61	2016-01-25 11:38:02
8.7	0.07	0.58	2016-01-25 11:39:02
8.7	0.07	0.59	2016-01-25 11:40:03
8.7	0.07	0.58	2016-01-25 11:41:02
8.8	0.07	0.63	2016-01-25 11:42:02
8.7	0.07	0.58	2016-01-25 11:43:03
8.7	0.07	0.58	2016-01-25 11:44:02
8.7	0.07	0.58	2016-01-25 11:45:03
8.7	0.07	0.57	2016-01-25 11:46:04
8.8	0.07	0.62	2016-01-25 11:47:04
8.6	0.07	0.59	2016-01-25 11:48:04
8.6	0.07	0.58	2016-01-25 11:49:05
8.8	0.07	0.59	2016-01-25 11:52:04
8.6	0.07	0.58	2016-01-25 11:53:01
8.6	0.07	0.57	2016-01-25 11:54:01

Figura 4.60 - Página web da bateria

Os dados do painel são apresentados de forma similar, a tensão de saída é apresentada em Volts e a corrente em Amperes.

Segue-se a temperatura e irradiação solar.

Descarregar CSV
PAINEL

Tensão[V]	Corrente[A]	Potência[W]	Data
8.89	0	0.02	2016-01-25 11:33:47
8.87	0	0.03	2016-01-25 11:34:46
8.87	0	0.03	2016-01-25 11:35:48
8.89	0	0.03	2016-01-25 11:36:48
8.99	0	0.03	2016-01-25 11:37:48
8.83	0	0.01	2016-01-25 11:38:48
8.81	0	0.01	2016-01-25 11:39:49
8.79	0	0.01	2016-01-25 11:40:48
8.93	0	0.01	2016-01-25 11:41:48
8.77	0	0.01	2016-01-25 11:42:49
8.75	0	0.01	2016-01-25 11:43:49
8.75	0	0.01	2016-01-25 11:44:49
8.75	0	0.01	2016-01-25 11:45:50
8.89	0	0.01	2016-01-25 11:46:50
8.73	0	0.01	2016-01-25 11:47:46
8.71	0	0.01	2016-01-25 11:48:46
8.69	0	0.01	2016-01-25 11:49:47
8.87	0	0.02	2016-01-25 11:51:46
8.69	0	0.02	2016-01-25 11:52:47

Figura 4.61 - Página web do painel

A temperatura é apresentada em graus Celcius e a irradiação em W/m^2 .

Descarregar CSV
TEMPERATURA / RADIAÇÃO

Temperatura[°C]	Radiação[W/m ²]	Data
11	24.09	2016-01-25 11:34:32
11	26.91	2016-01-25 11:35:34
11	26.91	2016-01-25 11:36:34
12	23.76	2016-01-25 11:37:34
12	15.93	2016-01-25 11:38:34
12	14.26	2016-01-25 11:39:35
11	15.07	2016-01-25 11:40:35
11	15.49	2016-01-25 11:41:35
12	16.15	2016-01-25 11:42:35
11	13.13	2016-01-25 11:43:35
11	12.95	2016-01-25 11:44:35
12	14.86	2016-01-25 11:45:31
12	16.37	2016-01-25 11:46:32
11	15.07	2016-01-25 11:47:32
12	14.66	2016-01-25 11:48:32
11	13.68	2016-01-25 11:49:33
12	18.03	2016-01-25 11:51:32
12	16.83	2016-01-25 11:52:32
12	16.37	2016-01-25 11:53:34

Figura 4.62 - Página web da temperatura e irradiação solar

E, por último, os valores da velocidade, apresentada em quilómetros por hora (km/h) e direção do vento, com a abreviatura respetiva.

Figura 4.63 - Página web do vento

Descargar CSV

VENTO		
Velocidade[Km/h]	Direção	Data
0.2	--	2016-01-29 12:15:08
0.2	--	2016-01-29 12:16:12
0.2	--	2016-01-29 12:17:08
0.2	NO	2016-01-29 12:18:09
0.1	NO	2016-01-29 12:19:09
0.7	S	2016-01-29 12:20:10
0.1	SO	2016-01-29 12:21:09
0.1	E	2016-01-29 12:22:09
0.1	E	2016-01-29 12:23:10
0.1	E	2016-01-29 12:24:10
0.1	--	2016-01-29 12:25:10
0.1	--	2016-01-29 12:26:11
0.1	--	2016-01-29 12:27:12
1.2	--	2016-01-29 12:28:12
0.3	--	2016-01-29 12:29:08
0.3	--	2016-01-29 12:30:08
0.3	--	2016-01-29 12:31:13
0.4	--	2016-01-29 12:32:09
0.3	NO	2016-01-29 12:33:09

Figura 4.63 - Página web do vento

4.3. Testes Utilizando Duzentos Resultados

Analisando resultados de um conjunto retirado de um intervalo de tempo selecionado aleatoriamente, duzentos resultados, e comparando a medição da irradiação solar com a potência gerada pelo painel, podemos verificar as similaridades entre os dois. Os dados foram recolhidos entre as 14:30 horas e as 17:48 horas do mesmo dia, num conjunto de duzentas medições.

A Figura 4.64 contém os dados relativos à potência do painel.

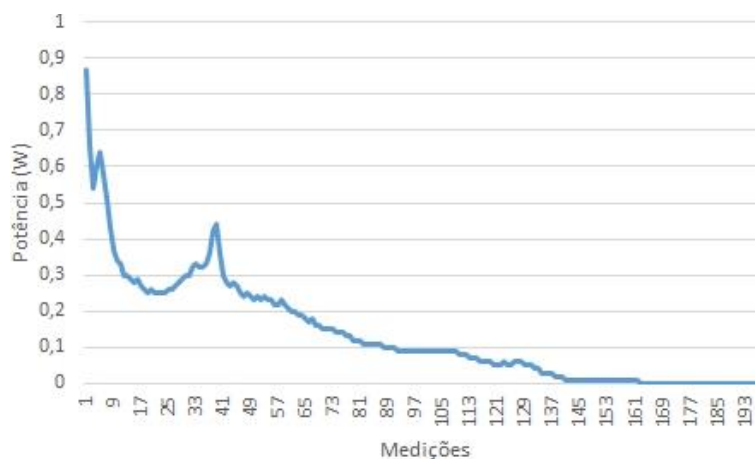


Figura 4.64 - Medição da potência do painel

A Figura 4.65 apresenta os dados do sensor de irradiação solar.

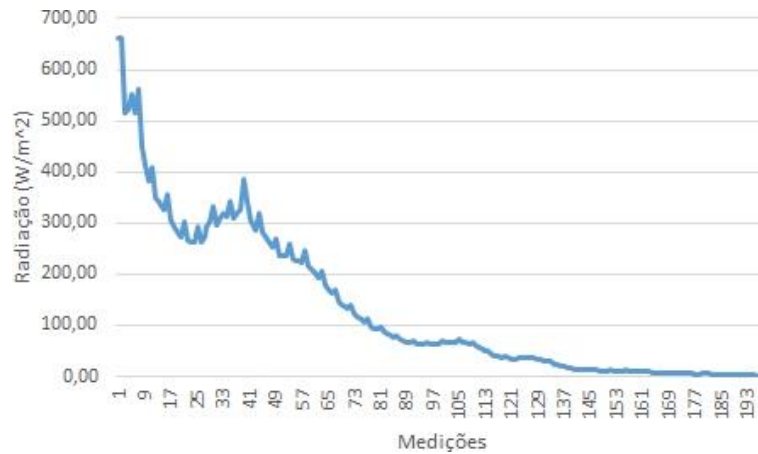


Figura 4.65 - Medição da irradiação

O gráfico apresentado na Figura 4.66 corresponde à comparação entre a irradiação e a potência, verifica-se uma similaridade entre os dois resultados. A potência é proporcional à quantidade de energia solar recebida.

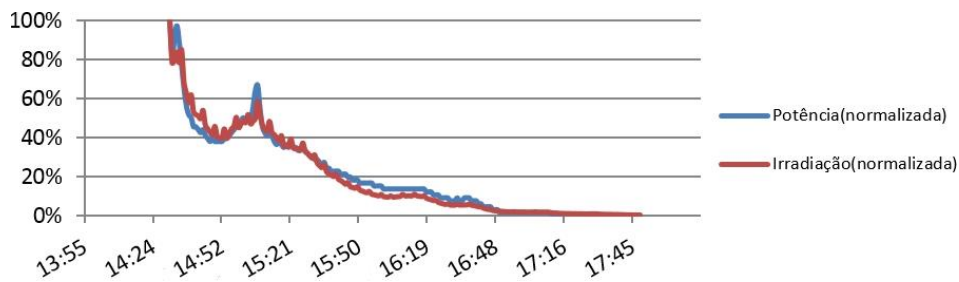


Figura 4.66 - Comparação entre a irradiação e potência

A figura seguinte representa o erro entre estas duas grandezas, ou seja, a diferença entre a potência que seria possível obter e a potência realmente obtida. Refira-se que o erro máximo é de 12% e o mínimo de -14%.

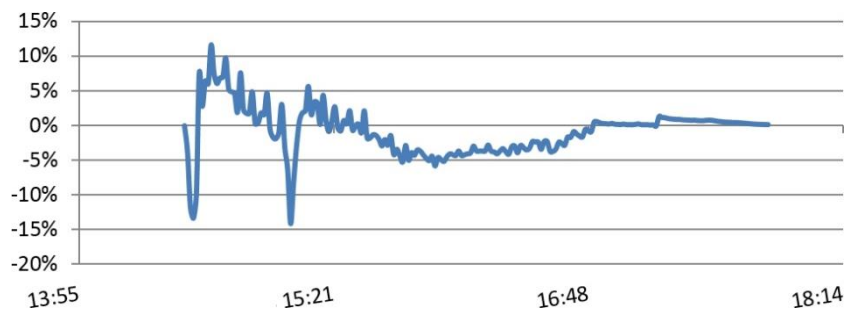


Figura 4.67 - Erro entre a potência e irradiação

Refira-se que a temperatura também se alterou ao longo do tempo. A Figura 4.68 mostra esta evolução temporal.

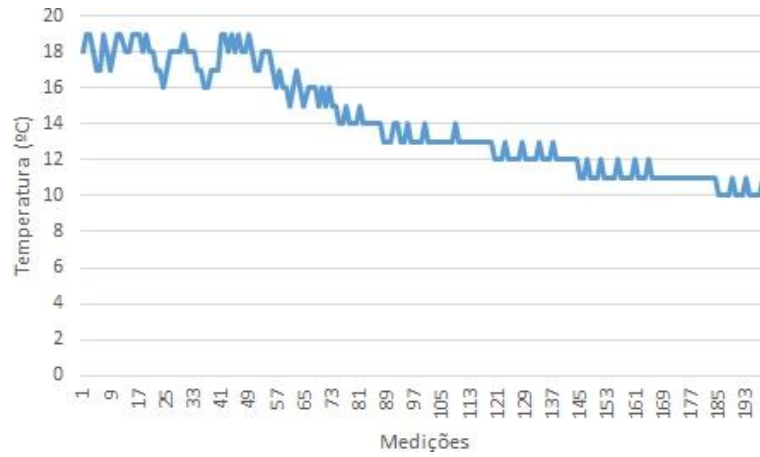


Figura 4.68 - Medição da temperatura

Para o mesmo intervalo de tempo, a velocidade e a direção do vento também sofreram alterações. A

Figura 4.69 reflete uma ligeira mudança no sentido do vento.

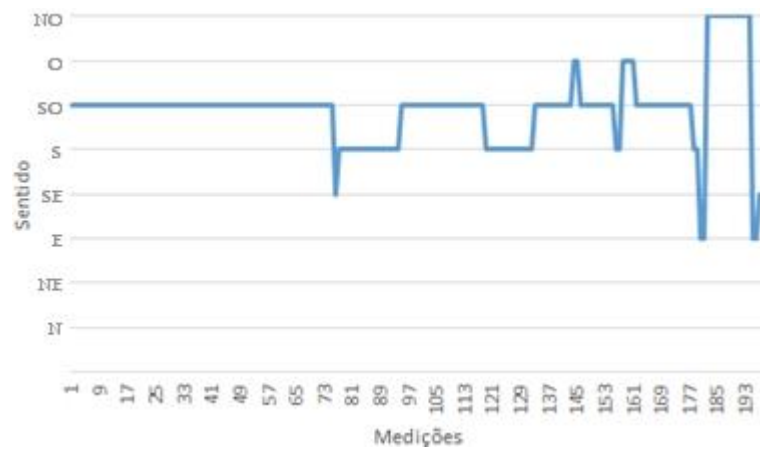


Figura 4.69 - Medição da direção do vento

A Figura 4.70 mostra as alterações ao nível da velocidade.

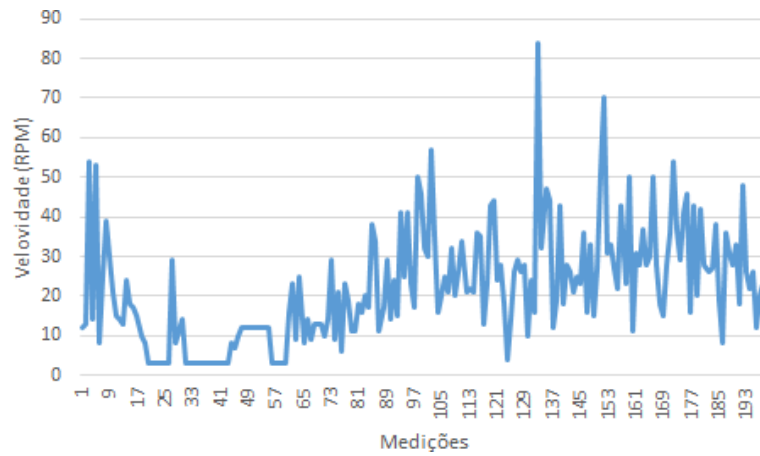


Figura 4.70 - Medição da velocidade do vento

4.4. Testes Durante Aproximadamente Nove Horas de Um Dia

A intenção destes testes é recolher dados para avaliar a autonomia do sistema.

Novamente se verifica que a irradiação é proporcional à potência fornecida pelo módulo fotovoltaico.

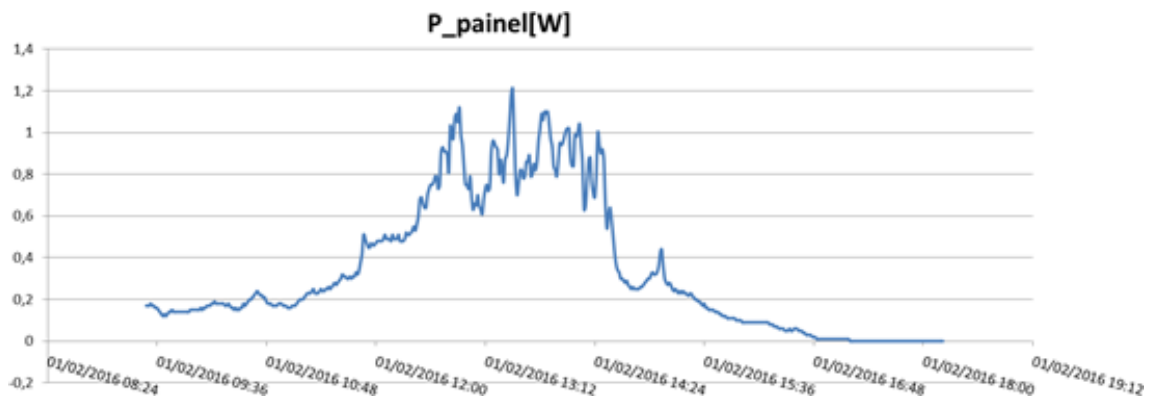


Figura 4.71 - Potência ao longo de um dia

As variações são perceptíveis também pelo sensor de irradiação.

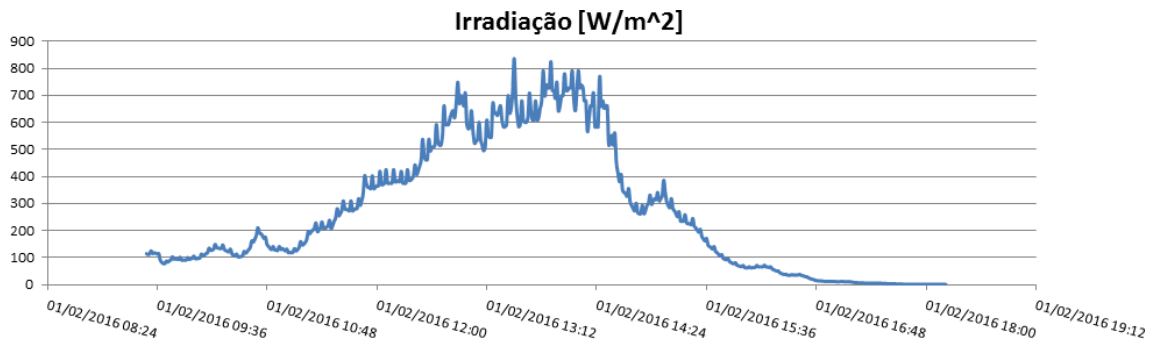


Figura 4.72 - Irradiação ao longo de um dia

Durante este período também foi testado o anemómetro, cujos resultados estão no gráfico da Figura 4.73.

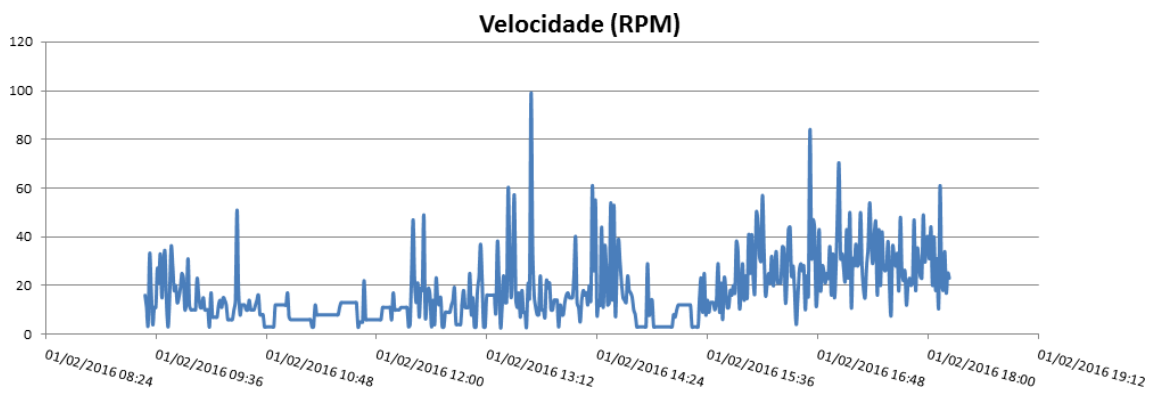


Figura 4.73 - Velocidade do vento ao longo de um dia

A Figura 4.74 mostra a comparação das potências (do painel, bateria e da carga). Refira-se que quando este valor é negativo na bateria significa que está a ser carregada.

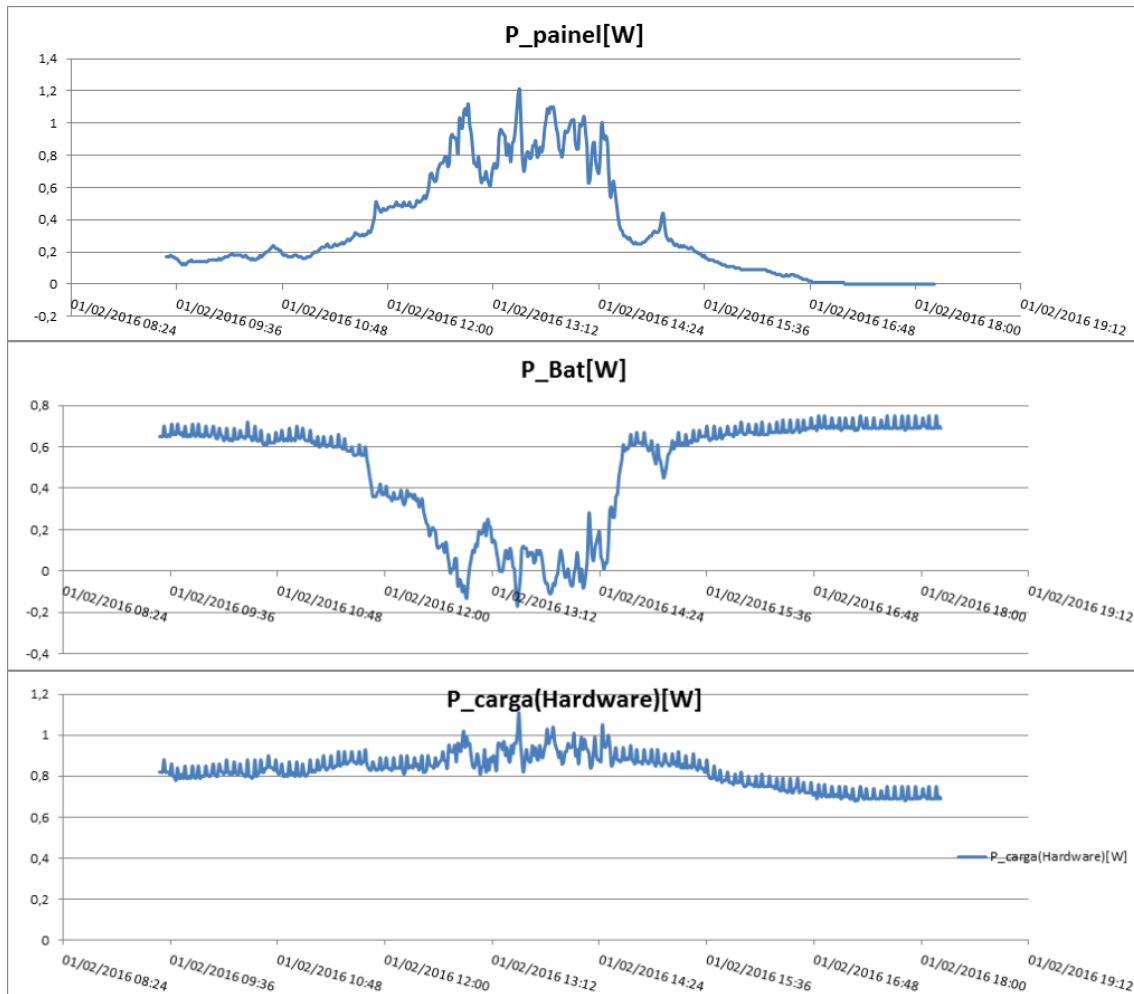


Figura 4.74 - Comparação das potências ao longo de um dia

Refira-se que, apesar de ser um dia de inverno, houve Sol que brilhou quase sem nuvens.

Nitidamente o módulo fotovoltaico não tem potência suficiente para alimentar o sistema. Na parte final do dia (16h00 até ao fim das aquisições) a potência na carga baixou porque a tensão da bateria baixou e o hardware consome menos corrente estando alimentado a uma tensão mais baixa.

A Figura 4.75 mostra a variação da corrente na carga e confirma-se uma redução da corrente (cerca de 10mA) devido aos reguladores de tensão.

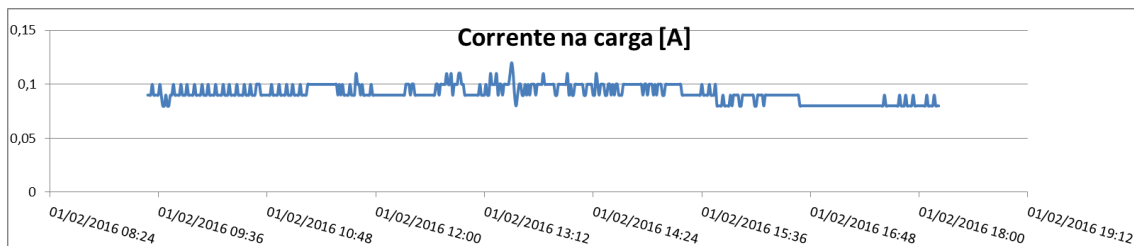


Figura 4.75 - Verificação da corrente na carga

Os resultados da irradiação são mostrados na Figura 4.76.

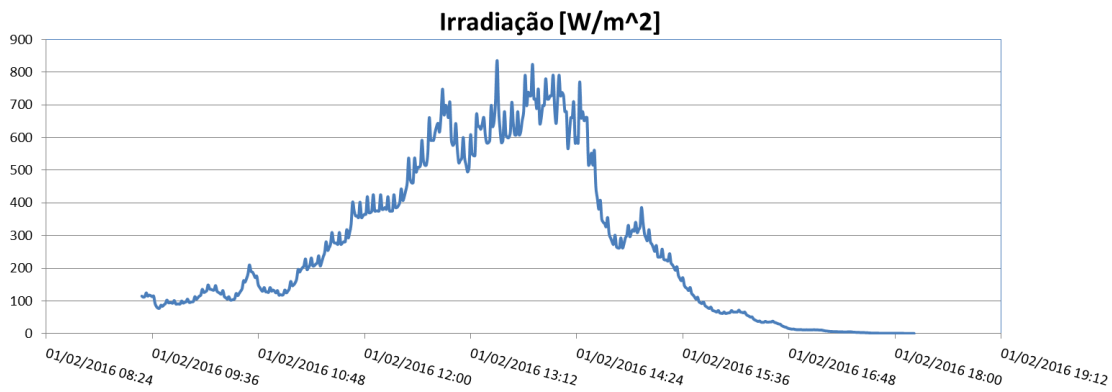


Figura 4.76 - Irradiação solar ao longo de um dia

Na Figura 4.77 é possível observar a evolução da temperatura.

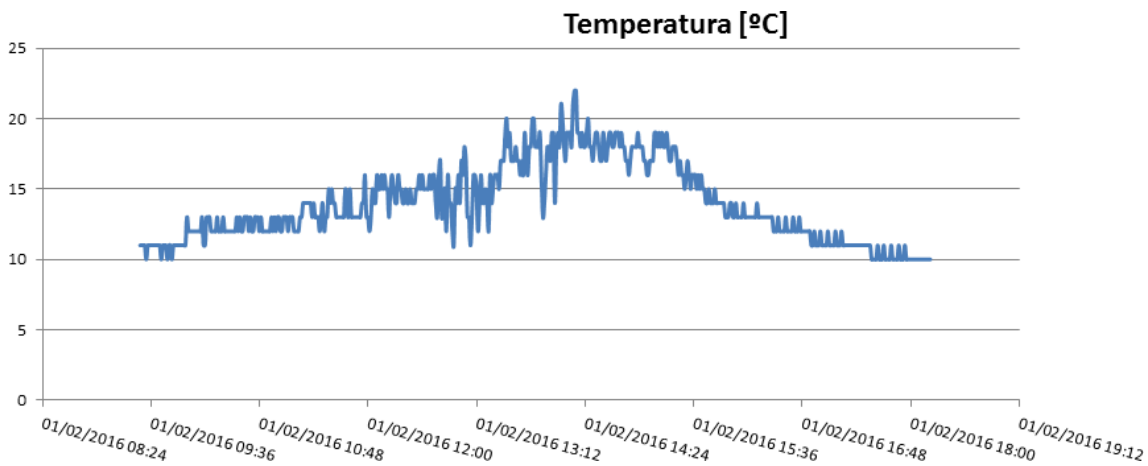


Figura 4.77 - Temperatura ao longo de um dia

4.5. Cálculo da Bateria e Potência para este Sistema

Após os testes realizados, as medições indicam que a potência do sistema é aproximadamente 1W com uma bateria de 9V. Assumindo perdas de 1% na resistência dos cabos e de 40% na interface entre módulo e bateria (uma vez que não existe controlador de carga):

$$Perdas = 0,99 \times 0,6 = 0,594 \quad 4.14$$

Definindo o tempo de funcionamento diário como 24 horas, a energia necessária por dia é:

$$24 * 1Wh/dia = 24Wh/dia \quad 4.15$$

Consultando a tabela da ferramenta PVGIS, o fator de correção de horas/dia para kW/m² é mais desfavorável no mês de Dezembro. Para determinar as horas de Sol por dia, no mesmo mês, divide-se pela radiação, ou seja, por 1000 W/m².

Assume-se então 2,82 horas de Sol com uma radiação de 1000 W/m², o que corresponde ao valor de H_d mais baixo da Figura 4.78.

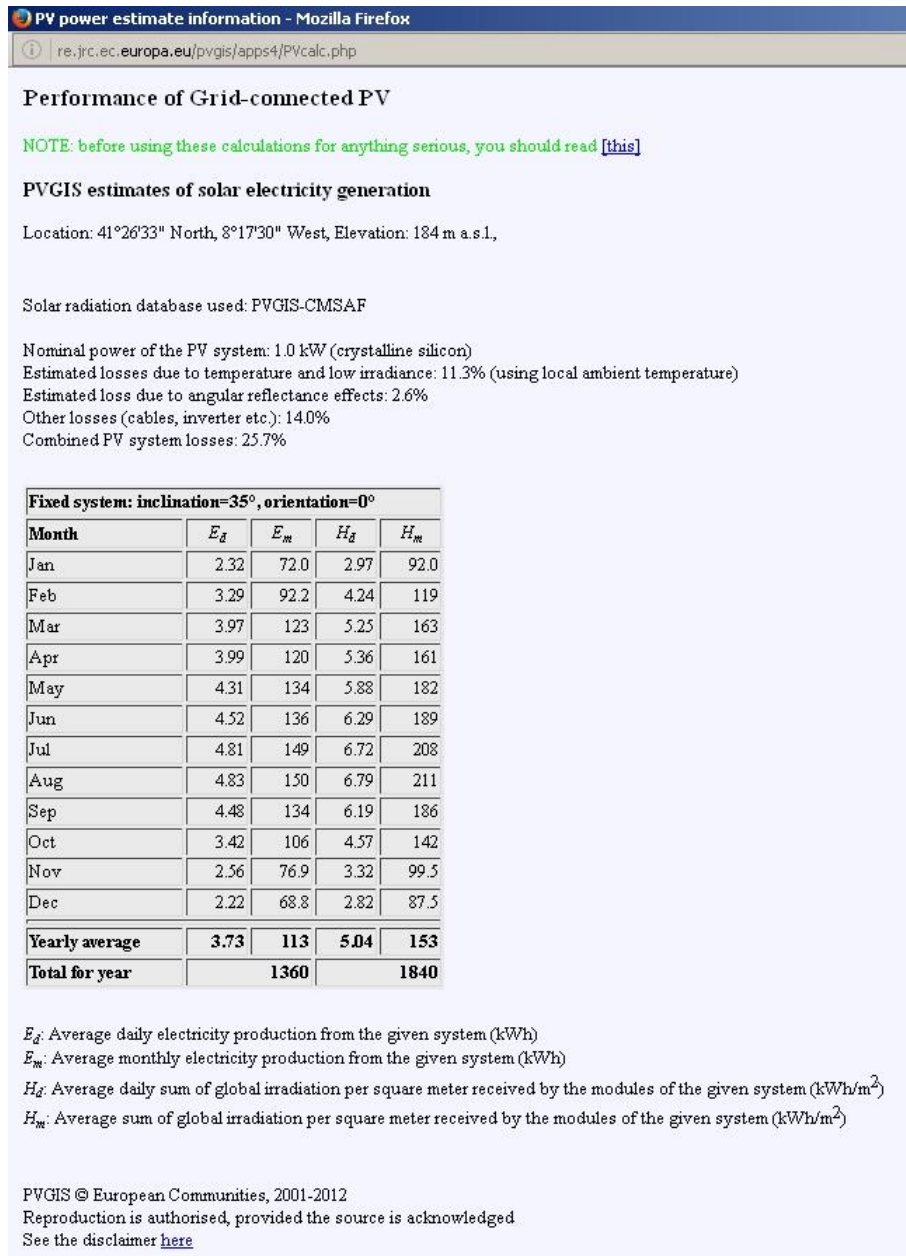


Figura 4.78 - Photovoltaic Geographical Information System [35]

Assim, a potência do módulo fotovoltaico será de:

$$P = \frac{W_{diária}}{Perdas * Correção} = \frac{24Wh/dia}{0,595 \times 2,82} = 14,3W \quad 4.16$$

Para a escolha do banco de baterias as características devem pressupor o seguinte, para uma escolha razoável [36]:

- 8 V de tensão.
- 5 dias de reserva (N_D).
- $K_D=0,6$ (profundidade de descarga).
- $K_{BAT}=0,80$ (eficiência de um ciclo completo – carga/descarga).

$$Capacidade_{diária} \text{ (Ah)} = \frac{EnergiaConsumida_{diária}}{Tensão \text{ Bateria}} \quad 4.17$$

$$Capacidade_{diária} \text{ (Ah)} = \frac{24}{8} = 3\text{Ah}$$

Então, tendo em conta:

$$CapacidadeAcomulador = \frac{Capacidade_{diária} * ND}{KD * KBAT} \quad 4.18$$

$$CapacidadeAcomulador = \frac{3 \times 5}{0,8 \times 0,6} = 31,25\text{Ah}$$

Portanto, seria necessário um banco de baterias de 12 V e 32 Ah juntamente com um módulo fotovoltaico de 15W com uma tensão de potência máxima perto dos 17 V para ser possível carregar a bateria sem conversor, ou seja, utilizando apenas um diodo intercalado.

Um exemplo seria o painel *Solartec S01PC-15* cujas características são as seguintes:

- 12 V Tensão Nominal, 15 W
- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}): 22 V
- Tensão Operacional (V_{mp}): 17,6 V
- Corrente Operacional (I_{mp}): 0,85 A

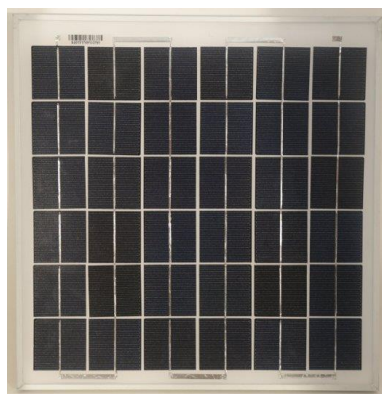


Figura 4.79 - Solartec S01PC-15 [37]

Quanto à constituição do banco de baterias, um exemplo seria *Multipower MP4.5-4 4V / 4.5Ah*.



Figura 4.80 - Multipower MP4.5-4 4V / 4.5Ah [38]

5. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuro

Esta dissertação tinha como principais objetivos a recolha dos dados meteorológicos e a monitorização remota de painéis fotovoltaicos, informação apresentada num sítio web. Estes requisitos foram cumpridos e podem ser acedidos através da internet.

Foi também proposto o aproveitamento da energia gerada pelos painéis para aumentar a autonomia do sistema, mas o sistema de carga da bateria não foi implementado. Deve ser referido que os sensores da bateria estão preparados para o caso de isto ser feito posteriormente.

Relativamente aos dados meteorológicos, é recolhida a temperatura, irradiação solar e direção e sentido do vento. Os dois primeiros foram calibrados com aparelhos de medição mas, os sensores de vento não o foram devido á indisponibilidade de um calibrador.

Os painéis fotovoltaicos podem ser monitorizados remotamente, devido à implementação da comunicação via modem 3G, e também podem ser detetadas eventuais falhas devido ao auxílio do sensor de irradiação solar.

Os dados ficam guardados na base de dados e é apresentada numa página web a informação útil, ou seja, os dados enviados pelo microcontrolador são convertidos em grandezas físicas, que podem ser entendidas por qualquer utilizador.

Através desta informação é possível saber a evolução dos dados recolhidos ao longo do tempo num determinado local. Isto é especialmente importante no caso da irradiação solar, permitindo calcular o número de painéis solares a ser instalados relativamente à potência necessária e um maior e mais rápido retorno do investimento.

Quanto ao trabalho futuro, este sistema, embora cumpra os objetivos, pode ser melhorado tanto ao nível do hardware como ao nível do software.

Relativamente ao hardware, é possível adicionar outros sensores como a humidade, mas tendo em conta o número limitado das portas do microcontrolador pois apenas resta uma porta digital. Também substituir ou adicionar ao modem 3G um módulo Bluetooth ou até Wi-Fi que permita uma partilha dos dados sem recurso a tarifários de dados móveis, mas que implica uma proximidade do aparelho.

Ao nível do software, existe a possibilidade de desenvolver uma aplicação capaz de mostrar apenas os intervalos de tempo selecionados, desenhar gráficos ou até ordenar os dados. Um aspeto importante tendo em vista o mercado, será reduzir o volume de tráfego, racionalizando os dados enviados, como por exemplo, diferenciando a frequência dos vários tipos de dados e enviando medições médias, mínimas e máximas.

Para aumentar a autonomia do sistema, pode ser adicionado um sistema de carga para a bateria, que implemente a técnica MPPT (maximum power point tracking) para maximizar a potência de saída dos painéis solares.

Referências Bibliográficas

- [1] C. J. Cleveland e C. G. Morris, Handbook of Energy: Chronologies, Top Ten Lists, and Word Clouds, Elsevier, 2014.
- [2] J. Perlin, From Space to Earth. The Story of Solar Electricity, AATEC Publications, 1999.
- [3] R. Sobot, Wireless Communication Electronics: Introduction to RF Circuits and Design techniques, Springer, 2012.
- [4] "Amazon.com: Weather Stations: Home & Kitchen," [Online]. Available: <http://www.amazon.com/b?node=397435011>. [Acedido em 10 01 2016].
- [5] "Amazon.com - AcuRite 00589," [Online]. Available: http://www.amazon.com/AcuRite-00589-Weather-Temperature-Humidity/dp/B00N2KWU1C/ref=lp_397435011_1_4/181-0378712-9292065?s=furniture&ie=UTF8&qid=1451158131&sr=1-4. [Acedido em 10 01 2016].
- [6] "Raspberry Pi Weather Station for schools," [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/school-weather-station-project/>. [Acedido em 15 01 2016].
- [7] V. Quaschnig, "The Sun as an Energy Resource - Technology Fundamentals," [Online]. Available: http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals1/index_e.php. [Acedido em 03 01 2016].
- [8] J. L. Morais, Sistemas Fotovoltaicos - da Teoria à Prática, Porto: Engebook, 2009.
- [9] R. T. & Travel, "APARATOS METEOROLÓGICOS," [Online]. Available: <http://www.rumtor.com/aparatos2.html>. [Acedido em 26 07 2016].
- [10] G. R. E. Ltd., "Annual Solar Irradiance, Intermittency and Annual Variations," [Online]. Available: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/empiricalevidence.php>. [Acedido em 26 07 2016].
- [11] J. R. C. European Commission, "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps," [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. [Acedido em 20 01 2016].
- [12] A. E. Inc., "Semicondutores," [Online]. Available: <http://www.geocities.ws/afonsobejr/semicondutores.html>. [Acedido em 26 07 2016].
- [13] electronica-pt.com, "Efeito Fotovoltaico," [Online]. Available: <http://www.electronica-pt.com/efeito-fotovoltaico>. [Acedido em 18 01 2016].

- [14] e-lee.net, “Modelo equivalente,” [Online]. Available: <http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Cellule/Modele.htm>. [Acedido em 20 01 2016].
- [15] P. I. Blog, “Energia Renováveis ou alternativas - Solar - Fotovoltaica - Artigo 02/04,” [Online]. Available: <http://processo-industrial.blogspot.pt/2014/01/energia-solar-fotovoltaica.html>. [Acedido em 18 01 2016].
- [16] J. Carneiro, “Electromagnetismo B - Módulos Fotovoltaicos, Características e Associações,” Universidade do Minho, 2010.
- [17] M. K. Panjwani e B. N. Ghous, “Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell,” *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2014.
- [18] F. H. García, A. Krenzinger e J. A. V. Alé, “Bancada experimental para estudo de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos,” em *In Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas (SP), 2002.
- [19] J. A. Marini e L. A. Rossi, “Projeto de sistemas fotovoltaicos para oferta de energia elétrica a comunidades rurais,” 2002. [Online]. Available: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200046&script=sci_arttext. [Acedido em 25 01 2016].
- [20] F. A. d. Sousa, Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica, PUBLINDÚSTRIA, 2015.
- [21] DOE, “Weatherization Programs Explore New Technologies,” 2001. [Online]. Available: http://waptac.org/data/files/Website_docs/Public_Information/Success_Stories/newtechtext.docx. [Acedido em 18 01 2016].
- [22] I. P. P. S. Programme, “PVPS annual report 2014,” International Energy Agency, 2015.
- [23] “3G | Official Three Store | Exclusive Phone and Sim Only Deals,” [Online]. Available: <http://www.3g.co.uk/PR/Feb2012/what-is-mobile-broadband-explained-in-simple-terms.html>. [Acedido em 10 01 2016].
- [24] A. Kumar, D. Y. Liu e D. J. Sengupta, “Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G,” *International Journal on Electronics & Communication Technology (IJECT)*, pp. 68-72, 2010.
- [25] “The World in 2013: ICT Facts and Figures,” em *International Telecommunications Unions (ITU)*, Geneva, 2013.
- [26] “The World in 2015: ICT Facts and Figures,” em *International Telecommunications Unions (ITU)*, Geneva, 2015.
- [27] A. Corporation, *ATmega8/L datasheet*, 2013.

- [28] “Advanced Photonix Inc NSL-19M51,” [Online]. Available: <http://www.digikey.com/product-detail/en/NSL-19M51/NSL-19M51-ND/5039794>. [Acedido em 10 01 2016].
- [29] “Using an NTC Thermistor as a Surge Suppressor - Datasheet, Specification,” [Online]. Available: <http://www.homemade-circuits.com/2013/02/using-ntc-resistor-as-surge-suppressor.html>. [Acedido em 15 01 2016].
- [30] J. S. Steinhart e S. R. Hart, Calibration curves for thermistors, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, 1968, pp. 497-503.
- [31] “Hall Effect Sensor (AH3144),” [Online]. Available: <http://nanjingahest.en.made-in-china.com/productimage/mMqQZAwDJTlx-2f1j00yMhaYEkcZvWO/China-Hall-Effect-Sensor-AH3144-Magnetic-Sensor-Hall-Switch-BLDC-Motor-.html>. [Acedido em 15 01].
- [32] N. A. E. S. & Technology, *AH3142 AH3144 AH3145 SENSITIVE HALL-EFFECT SWITCH INTEGRATED CIRCUITS*.
- [33] Wikipedia, “Ponto Cardeal,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponto_cardeal. [Acedido em 03 01 2016].
- [34] “Interface HttpSession,” The Apache Software Foundation, [Online]. Available: <https://tomcat.apache.org/tomcat-5.5-doc/servletapi/javax/servlet/http/HttpSession.html>. [Acedido em 15 01 2016].
- [35] E. C. -. JRC, “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps,” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>. [Acedido em 20 01 2016].
- [36] T. Lambert, P. Gilman e P. Lilienthal, Integration of Alternative Sources of Energy, John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [37] Amazon, “Solartec S01PC-15, 12 Volt 15 Watt Polycrystalline Solar Panel,” [Online]. Available: <http://www.amazon.com/gp/product/B00MPCXZ6W?ie=UTF8&tag=overcadverwit-20>. [Acedido em 15 01 2016].
- [38] R. C. Ltd, “Multipower MP4.5-4 4V / 4500mAh,” [Online]. Available: https://www.amazon.co.uk/Multipower-117691-MP4-5-4-4V-4500mAh/dp/B0071OU0LM/ref=sr_1_cc_2?s=aps&ie=UTF8&qid=1466956100&sr=1-2-catcorr&keywords=Multipower+4V. [Acedido em 21 01 2016].