

**Projeto e implementação de um protótipo
para microprodução de energia elétrica
destinado a alimentar um sistema de
iluminação decorativa exterior**

Joel Lopes Teixeira

1060976

**Dissertação realizada no âmbito do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas
Elétricos de Energia sob a orientação do Engenheiro Custodio Pais Dias**

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Outubro 2012

AGRADECIMENTOS

Gostava de agradecer em especial ao meu orientador Eng.º Custodio Dias pela ajuda e disponibilidade prestada em todas as fases do desenvolvimento deste trabalho. Um agradecimento particular ao Eng.º Daniel Fernandes pelo apoio e disponibilidade prestada ao longo do percurso deste trabalho.

Agradeço também à empresa Castros por me ter concedido a oportunidade de realizar este trabalho.

RESUMO

Com o presente trabalho é pretendido demonstrar a possibilidade de alimentação de um sistema de iluminação decorativa com recurso a soluções alternativas renováveis.

O estudo é focado essencialmente na produção local de energia solar fotovoltaica e eólica. Inicialmente é efetuado o estudo técnico-económico da implementação de um sistema fotovoltaico. Posteriormente é efetuado o estudo da viabilidade técnico-económica da implementação do sistema híbrido, composto por um sistema fotovoltaico e um sistema eólico, optando pelo que mais se adequa à alimentação do sistema de iluminação decorativa exterior.

Esta dissertação descreve a metodologia que procura melhorar a eficiência do sistema de led com o auxílio de ensaios em laboratório e simulação em software, com o objetivo de adaptar os sistemas de led instalados pela empresa ao sistema híbrido dimensionado.

Finalmente, é efetuada a análise comparativa entre o atual sistema de iluminação decorativa e o sistema renovável dimensionado mais favorável para alimentar sistemas de iluminação decorativa.

Procura-se assim com este projeto para além de apresentar um estudo teórico, proporcionar uma orientação à implementação de sistemas de microprodução destinados a alimentar sistemas de iluminação decorativa exterior.

Palavras-chave: Microgeração, energia eólica, energia fotovoltaica, sistemas híbridos, eficiência energética, díodos emissores de luz.

ABSTRACT

The following work shows the potential power of a system of decorative lighting solutions using renewable alternatives.

The study is focused mainly on the local production of solar photovoltaic and wind. Initially was performed the technical and economic study of the implementation of a photovoltaic system. Later it was performed a study about the technical and economic feasibility of the implementation of the hybrid system, composed of a photovoltaic system and a wind system, choosing the most suitable for power supply system decorative lighting.

This paper describes the methodology that seeks to improve the efficiency of led with aid of laboratory tests and simulation software, in order to adapt the led systems installed by the company to the hybrid system scaled.

At last a comparative analysis is performed between the current system and decorative lighting system most favorable to renewable scaled power supply system decorative lighting.

Therefore this project apart from providing a theoretical study, to provide orientation for implementation of systems for micro-production systems decorative lighting.

Keywords: Microgeneration, wind energy, photovoltaic energy, hybrid systems, energy efficiency, light emitting diodes.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ACRÓNIMOS	xvii
1) INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento da dissertação	1
1.2. Enquadramento do tema	2
1.3. Descrição dos capítulos restantes.....	3
2) MICROPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA BASEADA EM ENERGIAS RENOVAVEIS	5
2.1. Microprodução	5
2.2. Energia solar	6
2.3. Energia solar fotovoltaica	8
2.4. Energia eólica	8
2.5. Distribuição de Weibull.....	9
2.6. Configurações técnicas dos sistemas fotovoltaicos	10
2.6.1. Sistemas fotovoltaicos isolados	10
2.6.2. Sistema híbrido	11
2.6.3. Sistema ligado à rede	12
2.7. Tecnologia de conversão eólica	13
2.7.1. Aerogeradores	13
2.7.2. Reguladores de carga.....	15
2.8. Conversores eletrónicos de potência.....	16
2.8.1. Conversores DC/AC.....	16
2.8.2. Conversores AC/DC.....	17
2.9. Baterias	18
2.9.1. Bateria ácido-chumbo	19
2.9.2. Bateria níquel-cadmio	20
2.9.3. Bateria de níquel-hidretos metálicos	20
2.9.4. baterias de iões de lítio.....	21
2.10. Tecnologias de conversão fotovoltaica:.....	22

2.10.1.	Silício Monocristalino	22
2.10.2.	Silício-Policristalino	23
2.10.3.	Silício-amorfo	23
2.10.4.	Nanotecnologia de substratos flexíveis.....	24
2.10.5.	Tecnologia de concentração.....	25
2.11.	Díodo emissor de luz (led)	26
3)	ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA EXTERIOR	29
3.1.	Atividade da empresa	29
3.2.	Caracterização do problema	30
3.3.	Sistemas similares existentes.....	31
4)	MICROGERAÇÃO FOTOVOLTÁICA DESTINADA A ALIMENTAR ELEMENTOS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA.....	36
4.1.	Caso de estudo:.....	36
4.2.	Diagrama de blocos do sistema	36
4.3.	Dimensionamento elétrico da potência de produção	37
4.4.	Dimensionamento da capacidade das baterias	39
4.5.	Dimensionamento do regulador de carga	40
4.6.	Dimensionamento dos condutores.....	40
4.7.	Cálculo da potência mínima dos painéis fotovoltaicos	42
4.8.	Cálculo da capacidade mínima de armazenamento das baterias	43
4.9.	Calculo do regulador de carga	44
4.10.	Cálculo da secção dos condutores	44
4.11.	Seleção de possíveis painéis fotovoltaicos a utilizar	45
4.12.	Seleção de possíveis baterias a implementar	49
4.13.	Seleção do regulador de carga	49
4.14.	Estudo comparativo das varias tecnologias de paineis fotovoltaicos	50
5)	MICROGERAÇÃO HÍBRIDA DESTINADA A ALIMENTAR ELEMENTOS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA.....	55
5.1.	Diagrama de blocos do sistema hibrido.....	55
5.2.	Seleção de possíveis aerogeradores a implementar.....	56
5.3.	Estudo comparativo dos aerogeradores selecionados	57
5.4.	Estimativa de produção do aerogerador de eixo horizontal	58
5.5.	Distribuição de Weibull.....	58
5.6.	Análise comparativa entre o sistema fotovoltaico painel cigs e o sistema hibrido	61
5.7.	Alteração do circuito de led	63
5.7.1.	Resultados obtidos no ensaio do circuito de led “original”	64
5.7.2.	Resultados obtidos no ensaio do circuito sem resistências e sem retificador	65

5.8.	Possíveis soluções para alimentar o circuito de led.....	67
5.9.	Discussão de resultados das simulações.....	70
6)	COMPARAÇÃO DO SISTEMA ATUAL COM O SISTEMA RENOVÁVEL MAIS FAVORÁVEL	73
7)	CONCLUSÕES.....	75
	<i>REFERÊNCIAS</i>	77
	ANEXOS	82
	ANEXO A: Softwares utilizados	82
	ANEXO B: Data sheet do painel fotovoltaico CIGS.....	83
	ANEXO C: Data sheet do aerogerador de eixo horizontal	84
	ANEXO D: Data sheet bateria de íões de lítio	85
	ANEXO E: Data sheet do regulador de carga	86
	ANEXO F: Data sheet do conversor dc/ac.....	87
	ANEXO G: Data sheet do led	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA EXTERNA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS EM PORTUGAL (%).....	2
Figura 2.1 – ATLAS EUROPEU DA RADIAÇÃO SOLAR	7
Figura 2.2 – POTENCIAL EÓLICO EM PORTUGAL CONTINENTAL A 60M	9
Figura 2.3 – CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO.....	11
Figura 2.4 – CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO	12
Figura 2.5 – SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE PÚBLICA.....	13
Figura 2.6 – AEROGERADOR UPWIND VS AEROGERADOR DOWNWIND.....	14
Figura 2.7 – AEROGERADORES DE EIXO VERTICAL INSTALADOS NO GREENWAY SELF PARK.....	15
Figura 2.8 – RETIFICADOR MONOFÁSICO: A) SEM FILTRO, B) COM FILTRO CAPACITIVO, C) COM FILTRO INDUTIVO	18
Figura 2.9 – RELAÇÃO TAMANHO/PESO PARA AS VÁRIAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	22
Figura 2.10 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA E TENDÊNCIAS FUTURAS	25
Figura 2.11 – CONSTITUIÇÃO DE UM LED.....	26
Figura 2.12 – ESPECTRO LUMINOSO DOS DIFERENTES TIPOS DE LED.....	27
Figura 3.1 – ILUMINAÇÃO DECORATIVA NA TORRE DO CRISTO REI EXECUTADA PELA EMPRESA CASTROS,SA.....	31
Figura 3.2 – ÁRVORE DE NATAL EM ROCKEFELLER CENTER.....	32
Figura 3.3 – PARQUE DE ESTACIONAMENTO DE SANTA MONICA CIVIC CENTER.....	33
Figura 3.4 – PRIMEIRO POSTE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA ALIMENTADO 100% POR ENERGIAS EÓLICA E SOLAR	34
Figura 4.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA	36
Figura 4.2 – ESTUDO COMPARATIVO DAS TRÊS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS	48
Figura 4.3 – PREÇO DE AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS QUE CONSTITUEM O SISTEMA	52

Figura 4.4 – PREÇO POR WATT INSTALADO CORRESPONDENTE AS DIVERSAS TECNOLOGIAS	52
Figura 5.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA HÍBRIDO	56
Figura 5.2 – VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO MENSAL	58
Figura 5.3 – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL PARA O PORTO.....	59
Figura 5.4 – CURVA DE POTÊNCIA DO AEROGERADOR	60
Figura 5.5 – COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA FOTOVOLTÁICO E O SISTEMA HÍBRIDO.....	62
Figura 5.6 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO SISTEMA HÍBRIDO	63
Figura 5.7 – CIRCUITO LED "ORIGINAL"	64
Figura 5.8 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DO CIRCUITO DE LED'S "ORIGINAL"	64
Figura 5.9 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DO CIRCUITO DE LED'S APENAS COM FONTE DE ALIMENTAÇÃO DC	66
Figura 5.10 – SIMULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 120V DC	67
Figura 5.11 – SIMULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 12V DC COM RESISTÊNCIA SÉRIE	68
Figura 5.12 – SIMULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO CONVERSOR E RECTIFICADOR.....	69
Figura 5.13 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO SISTEMA HÍBRIDO A IMPLEMENTAR	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - INCLINAÇÃO IDEAL PARA OS MESES DO ANO	38
Tabela 4.2 – RENDIMENTO ENERGETICO DOS EQUIPAMENTOS A IMPLEMENTAR	42
Tabela 4.3 – PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS PARA USO DE BATERIAS DE ÁCIDO CHUMBO ..	45
Tabela 4.4 – PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS PARA USO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO	47
TABELA 4.5 - CARACTERISTICAS DAS BATERIAS DE ÁCIDO CHUMBO E IÕES DE LÍTIO 49	
Tabela 4.6 - CARACTERISTICAS DO REGULADOR DE CARGA	50
Tabela 4.7 - ESTUDO COMPARATIVO DAS DIVERSAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTÁICAS	51
Tabela 4.8 PREÇO DA ENERGIA GERADA PELOS PAINÉIS CIGS	53
Tabela 5.1 - CARACTERISTICAS DO AEROGERADOR DE EIXO VERTICAL E HORIZONTAL	56
Tabela 5.2 - ESTUDO COMPARATIVO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS EÓLICAS	57
Tabela 5.3 - DETERMINAÇÃO DE ENERGIA PRODUZIDA NOS 4 MESES DE FUNCIONAMENTO.....	60
Tabela 5.4 - DETERMINAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA SEM PERDAS	61
Tabela 5.5 - PREÇO DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA HÍBRIDO	62
Tabela 5.6 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM LABORATÓRIO	64
Tabela 5.7 - DADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO CIRCUITO DE LED “ORIGINAL”	65
Tabela 5.8 - DADOS OBTIDOS NO ENSAIO COM APENAS FONTE DE ALIEMTNAÇÃO DC	66
Tabela 5.9 -DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 120V DC	67
Tabela 5.10 - DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CIRCUITO A 12V DC COM RESISTÊNCIA SÉRIE	69
Tabela 5.11 - DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CIRCUITO COM CONVERSOR E RETIFICADOR	70
Tabela 5.12 - DETERMINAÇÃO DO EQUIPEMENTO DE CONVERSAO A UTILIZAR	70

ACRÓNIMOS

IVA	–	Imposto de Valor Acrescentado
LED	–	Díodo Emissor de Luz
AC	–	Corrente Alternada
DC	–	Corrente Continua
MPPT	–	Acompanhamento do Ponto de Potencia Máximo
CIS	–	Disselenieto de Cobre e Índio
CIGS	–	Cobre Índio Gálio Selénio
STC	–	Condições de Teste Padrão
Wp	–	Watt-pico
Ah	–	Ampere-hora
Lm	–	Lúmen
PVGIS	–	Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica
PV	–	Fotovoltaico
IEC	–	Comissão Internacional Eletrotécnica
CPV	–	Fotovoltaico de Concentração
LI	–	Lítio
CH	–	Chumbo

1) INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO

A origem da necessidade de abastecimento de energia através de recursos renováveis deve-se fundamentalmente à crise petrolífera que se originou na década de 70. A substituição de energias renováveis pelos combustíveis fósseis tornou-se uma ideia cada vez mais crescente, dadas as vantagens de carácter inesgotável e de baixo impacto ambiental em relação aos combustíveis de origem fóssil [dgeg.pt, 2012].

A redução das emissões atmosféricas poluentes converteu-se numa preocupação acentuada para as entidades governamentais, dando origem à aplicação de legislação, para minimizar os efeitos causados pelas emissões poluentes. O protocolo de Quioto assinado em 1997 foi um dos tratados em causa, no qual a Europa se comprometeu em reduzir as emissões de dióxido de carbono em 8% até 2012 [Europa.eu, 2012].

A degradação da qualidade do ar e o risco para a saúde pública, conduziu à procura de alternativas tendo em vista a redução de consumos e a maior utilização de alternativas renováveis. O crescimento da produção de energia por alternativas renováveis, também ocorreu devido aos incentivos estabelecidos por diretivas oriundas da União Europeia, que permitem a venda de energia a preços vantajosos para o produtor de energia elétrica.

Embora Portugal se depare com um clima de recessão económica, encontra-se bem posicionado no ranking dos países mais atrativos para o investimento em energia solar, consagrando a 13ª posição até Fevereiro de 2012 [Ernst & Young, 2012]. Sendo este investimento uma alternativa viável para Portugal dado a sua elevada dependência energética externa e à sua abundância de fontes de energia renovável.

A dependência dos combustíveis fósseis, a instabilidade do preço dos mesmos e o aumento atual do IVA (imposto de valor acrescentado) sobre a eletricidade, provoca o constante aumento do preço da energia elétrica em Portugal, sendo a energia produzida proveniente de recursos renováveis naturais uma opção cada vez mais compensatória no território português.

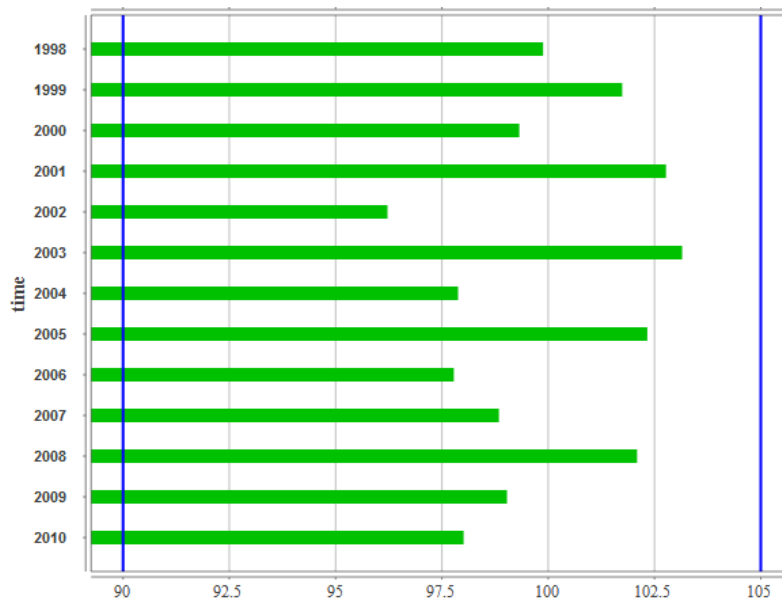


Figura 1.1 – DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA EXTERNA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS EM PORTUGAL (%) [EPP.EUROSTAT.EC.EUROPA.EU, 2012]

1.2. ENQUADRAMENTO DO TEMA

A microprodução de energia mais utilizada em locais remotos é efetuada através do sistema de captação de energia proveniente de recursos eólicos e fotovoltaicos.

A grande vantagem da energia solar fotovoltaica, em relação a outras fontes renováveis, está relacionada com a modularidade do sistema, aumentando assim a energia produzida apenas com o incremento de novos módulos, sem a necessidade de alteração total do sistema instalado.

A vantagem da energia eólica em relação a energia fotovoltaica está associada à produção de energia elétrica durante períodos de ausência de luz solar. A combinação das duas tecnologias permite o aumento da fiabilidade do sistema e da sua autonomia.

A iluminação decorativa de fachadas de edifícios e de zonas urbanas constitui um dos fatores de valorização do ambiente das cidades tornando-as mais atrativas, assistindo-se atualmente a um aumento da sua utilização mesmo fora das épocas festivas.

Mesmo nos sistemas de iluminação decorativa simples, a respetiva alimentação elétrica acaba por ser responsável pelo “consumo” de uma considerável quantidade de material (cablagem e respetivos acessórios) e de mão-de-obra para a sua instalação.

A utilização da tecnologia led para concretizar a iluminação decorativa conduz a uma redução muito substancial das necessidades energéticas do sistema, podendo, por isso, pensar-se no desenvolvimento de formas de microprodução de energia elétrica capazes de tornar autónoma a alimentação dos referidos sistemas.

No decorrer deste projeto serão abordados os aspetos relativos: à alimentação do sistema de iluminação decorativa exterior considerando a microprodução fotovoltaica e eólica; às possibilidades de microprodução local de energia elétrica e análise económica do sistema de microprodução de energia mais rentável e à adaptação do sistema de iluminação decorativa constituído por leds ao sistema de microprodução de energia dimensionado.

1.3. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS RESTANTES

A presente dissertação é composta por 7 capítulos, divididos de acordo com o tema a tratar.

O capítulo 2 expõe conceitos relacionados com energia eólica e fotovoltaica, para melhor compreensão da sua constituição e das diversas configurações que um sistema fotovoltaico poderá adotar, bem como todas as tecnologias presentes na produção eólica e fotovoltaica.

Quanto ao capítulo 3, apresenta a descrição da atividade da empresa Castros, a utilização de leds em sistemas de iluminação decorativa e a aplicação de leds em sistemas de iluminação decorativa existentes.

Relativamente ao capítulo 4, este descreve detalhadamente toda a metodologia de dimensionamento da potência do sistema de produção fotovoltaico, armazenamento e controlo, incluindo o cálculo e a seleção dos equipamentos que constituem todo o sistema.

No capítulo 5 será abordado o estudo da implementação do sistema híbrido, através da combinação de um painel fotovoltaico e de um aerogerador, com a finalidade de

alimentação de um sistema de iluminação decorativa. Neste mesmo capítulo são ainda apresentadas as alterações necessárias para a adaptação do circuito de led existente na empresa Castros ao sistema dimensionado, selecionado a opção mais eficiente de acordo com o estudo técnico-económico efetuado.

O capítulo 6 demonstra a comparação entre o atual sistema de iluminação decorativa utilizado pela empresa e o sistema renovável mais adequado para alimentar o sistema de iluminação decorativa.

Por último, no capítulo 7 será realizada a síntese de resultados obtidos nos capítulos estudados.

2) MICROPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA BASEADA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.1. MICROPRODUÇÃO

A microgeração, designada também por microprodução, consiste na produção de energia elétrica ou térmica realizada pelo consumidor, por intermédio de equipamentos de produção de energia de pequena dimensão [renovaveisnagora.com, 2012]. A microprodução permite captar recursos renováveis entre os quais energia solar, eólica, das marés, das ondas, biomassa, hidrogénio e geotérmica.

O avanço crescente da produção dispersa ou distribuída permitiu desmitificar o conceito de produção centralizada, possibilitando ao consumidor a oportunidade de produzir energia no local de consumo.

A possibilidade de produção de energia no local de consumo, apresenta vantagens, quer a nível económico, tecnológico e ambiental, destacando-se [energiasrenováveis.com, 2012]:

- Diminuição de perdas no transporte e distribuição de energia;
- Evitar a sobrecarga ou construção de novas centrais electroprodutoras;
- Menor dependência de combustíveis fósseis;
- Redução da emissão de gases efeito de estufa;
- Fornecimento de energia em locais remotos;
- Benefícios económicos por parte dos produtores;
- Menor risco de interrupção de serviço;
- Usufruir da maturidade tecnológica no sector renovável.

A energia produzida ligada à microgeração representa uma pequena parcela comparativamente com a energia produzida nas centrais electroprodutoras.

No momento do aparecimento da produção de energia de forma distribuída, os investimentos nesta área não possuíam interesse económico comparativamente com a produção de energia eléctrica de forma convencional. Para fortalecer os investimentos na microprodução, as entidades governamentais viram-se obrigadas a tomar medidas de apoio, de modo a tornar estes investimentos economicamente viáveis. Foram então criadas legislações e incentivos para aumentar esta forma de produção de energia eléctrica, que conseqüentemente dá origem à diminuição do preço de aquisição dos produtos com esta tecnologia, devido ao aumento da comercialização da mesma. [edp.pt, 2012]

2.2. **ENERGIA SOLAR**

A energia solar consiste no aproveitamento da energia proveniente do sol, especialmente sob forma térmica ou fotovoltaica.

O proveito térmico é obtido de forma direta, baseando-se na captação dos raios solares durante o dia, transferindo essa energia para estruturas acumuladoras de calor.

No proveito fotovoltaico a energia é obtida de modo indireto, contrariamente a energia térmica, os sistemas fotovoltaicos convertem a energia solar em energia eléctrica resultante de uma reacção química, utilizando luz solar incidente e não o calor.

A energia solar é a fonte de energia que possui maior penetração no mercado de produção de energia, visto apresentar um avançado nível de maturidade tecnológico e o seu contante desenvolvimento. A sua incidência no mercado deve-se também a distribuição geográfica, ao seu carácter praticamente inesgotável e à modularidade dos equipamentos facilitando a sua instalação, transporte e o incremento da potência instalada.

O território português está geograficamente bem posicionado para a instalação deste tipo de equipamentos, usufruindo entre 2200 a 3100 horas de sol anuais, o

equivalente a uma radiação anual entre 1300 kWh/m² a 1900 kWh/m², como se observa na figura 2. [energiasrenovaveis.com, 2012]

A exposição solar elevada do território português permite desfrutar das vantagens do aproveitamento solar, com a redução da dependência de combustíveis fósseis, redução de emissões atmosféricas, abastecimento de energia em locais remotos e evitar novos investimentos em centrais electroprodutoras.

No entanto, a captação de energia solar possui limitações devido a necessidade de armazenamento de energia elétrica, sobretudo em situações de não produção ou instabilidade de produção de energia devido à irregularidade das condições climáticas.

Sendo estes entraves responsáveis pelo sobredimensionamento dos sistemas de captação e armazenamento de energia, o que induz o aumento do custo do sistema.

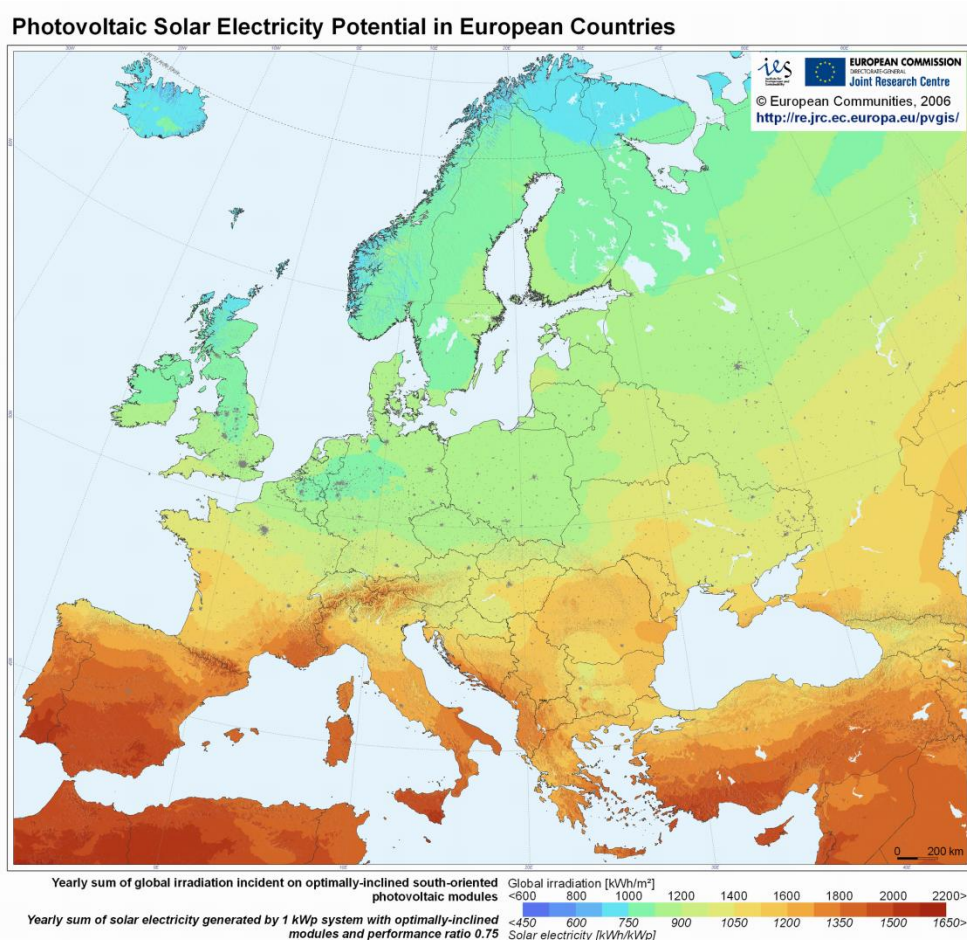


Figura 2.1 – ATLAS EUROPEU DA RADIAÇÃO SOLAR [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis,2012]

2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Conforme referido no ponto anterior, a energia solar fotovoltaica provém da transformação da luz solar “photo” em energia elétrica “voltaico” através de uma reação química, dando -se o nome de Efeito Fotovoltaico.

O princípio de funcionamento das células fotovoltaicas é idêntico ao funcionamento das junções p-n de um díodo. Estas células têm a capacidade de transformar a energia contida num fotão em tensão e corrente elétrica.

O efeito fotovoltaico ocorre em semicondutores, sendo estes constituídos por duas bandas, a banda de valência onde existem eletrões e a banda de condução onde estão localizadas as lacunas. Se um fotão possuir energia suficiente para se mover da banda de valência para a banda de condução, será criado um eletrão lacuna, permitindo a circulação dos eletrões pela carga originando uma corrente elétrica.

O semicondutor mais utilizado é o silício. O seu átomo é composto por 4 eletrões de valência, permitindo ligações covalentes perfeitas com átomos de silício vizinhos. As ligações dos átomos de silício implicam a utilização de grandes valores de energia para a libertação dos seus próprios eletrões, torna-se necessário a aplicação de um dopante com excesso de eletrões, com por exemplo o fósforo (possui 5 eletrões de ligação). Como há um eletrão em excesso ligado ao fósforo, este necessita de pouca energia para se mover e libertar, dando assim origem ao aparecimento de uma corrente elétrica. [Patel, 2006]

2.4. ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é proveniente do aquecimento solar em diferentes partes do planeta. O aquecimento provoca a deslocação do ar, de locais onde o ar é mais denso e frio para locais onde o ar é menos denso e quente dando origem ao vento.

A velocidade do vento é condicionada por diversos fatores como, a rugosidade do solo, o relevo ou obstáculos que impedem a passagem do vento e a criação de turbulência.

Na figura 3 pode observar-se a velocidade média do vento para Portugal continental a 60 metros acima do solo.

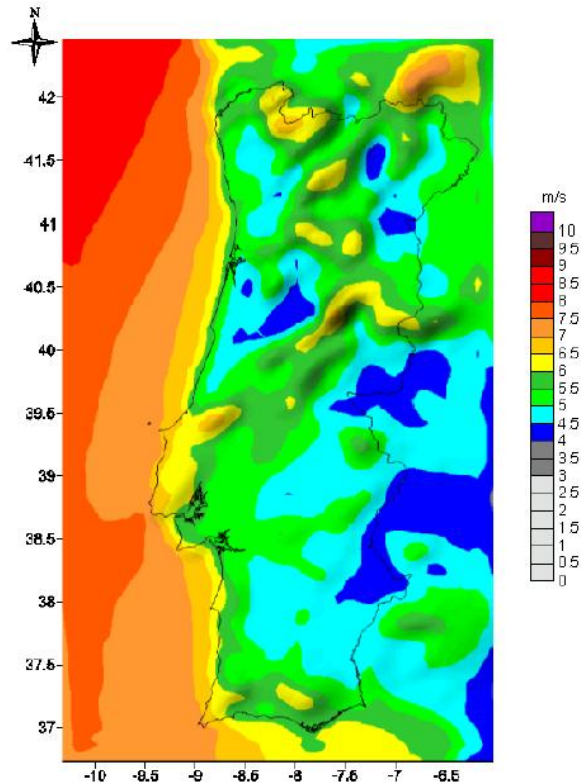


Figura 2.2 – POTENCIAL EÓLICO EM PORTUGAL CONTINENTAL A 60M [Estaqueiro, 2000]

2.5. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A inconstante velocidade e direção do vento dificultam a descoberta do potencial eólico presente numa determinada zona, o que torna necessário recorrer a um método probabilístico para determinar a velocidade do vento.

O método mais adequado para a distribuição de probabilidade de ocorrência da velocidade do vento é a distribuição de Weibull, sendo esta função utilizada na maioria dos programas informáticos de caracterização do potencial eólico.

A função de densidade de distribuição de Weibull é calculada pela seguinte fórmula:

$$g(V) = \frac{k}{A} \times \left(\frac{V}{A}\right)^{(k-1)} \times e^{-\left(\frac{V}{A}\right)^k} \quad (1)$$

Onde o parâmetro k representa o fator de forma (adimensional), define a forma da distribuição dos valores em torno do valor médio. Quanto à variável V representa o parâmetro de escala, associado à velocidade média do vento (m/s). [Castro, 2009]

2.6. CONFIGURAÇÕES TÉCNICAS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.6.1. SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS ISOLADOS

O abastecimento de energia em sistemas fotovoltaicos isolados é efetuado pela produção fotovoltaica instalada no local e não pelo abastecimento de energia pela rede pública de energia.

A implementação de sistemas fotovoltaicos isolados é mais frequente em locais onde as habitações não têm ligação à rede elétrica, devido aos custos impostos pela criação de uma nova rede para estes locais.

As instalações deste tipo requerem armazenamento de energia, devido aos momentos em que a produção é inferior ao consumo de energia, particularmente durante a noite.

O sistema de armazenamento de energia mais frequente é realizado através de baterias, sendo estas responsáveis pelo maior entrave nos sistemas fotovoltaicos, devido à sua reduzida vida útil e ao seu preço de aquisição elevado.

A estrutura de suporte dos painéis fotovoltaicos pode ser fixa ou dotada de mecanismos para alterar a sua inclinação. As estruturas móveis são dotadas de seguidores solares de um ou dois eixos que, embora acresçam o preço do sistema, maximizam a energia produzida até 45%. [Navarte e Lorenzo, 2008]

Para a implementação dos sistemas com seguidor solar é necessário proceder a uma avaliação do local e realizar um estudo técnico-económico averiguando o proveito de energia em relação ao sistema fixo, no entanto é necessário ter em atenção a sua necessidade de manutenção, evitando a diminuição da fiabilidade do sistema [Ruther, 1999].

O acesso a este sistema de produção de energia torna-se cada vez mais atraente devido ao seu constante avanço tecnológico e à redução do seu custo de aquisição.

O seu campo de aplicação surge atualmente em sinalização rodoviária, antenas de sinal, iluminação pública e em locais sem acesso à ligação da rede pública de energia.

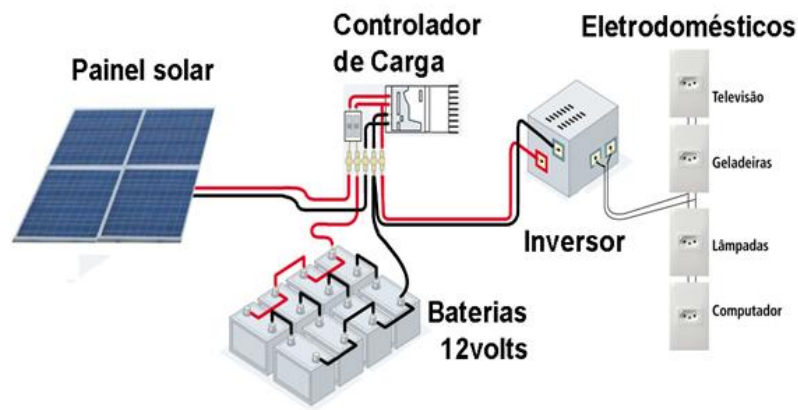


Figura 2.3 – CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO ISOLADO
[sustentabilidade.blogspot.com]

2.6.2. SISTEMA HÍBRIDO

Os sistemas híbridos são sistemas constituídos por mais que uma fonte de produção de energia elétrica. Os sistemas híbridos, tal como os sistemas isolados, encontram-se desconectados da rede pública de energia, produzindo energia para consumo próprio.

A combinação de duas fontes de produção de energia deve ser dimensionada de acordo com o local e com as necessidades de cada instalação, de modo a maximizar os proveitos gerados pelas duas fontes de energia.

Existem diversas combinações híbridas possíveis, tais como: geradores fotovoltaicos juntamente com geradores diesel, geradores eólicos com geradores hídricos, sendo o que mais se adequa ao presente estudo, a combinação de geradores fotovoltaicos com geradores eólicos. A junção destas duas fontes de produção pode possibilitar proveitos económicos, permitindo ao utilizador o carregamento das baterias de forma mais rápida e fiável, ou seja, efetuar o carregamento das baterias durante a noite, ou em dias encobertos, através da energia eólica e em dias solarengos de pouco, ou nenhum, vento efetuar o carregamento através de painéis fotovoltaicos. [Ferreira, Trindade, Martins e Afonso- 2010]

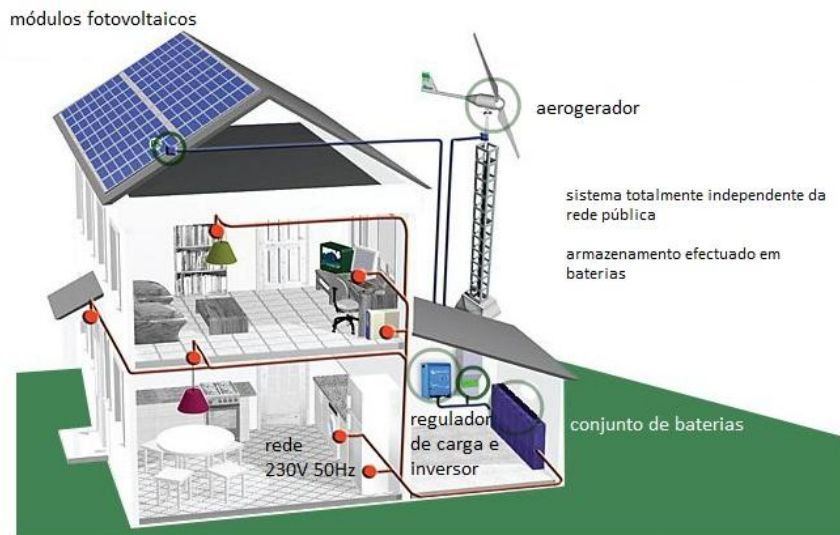


Figura 2.4 – CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO [sasenergia.pt,2012]

2.6.3. SISTEMA LIGADO À REDE

O sistema ligado à rede não necessita de baterias para armazenamento de energia, atendendo a que toda a energia elétrica produzida é injetada na rede elétrica, outra característica positiva deste sistema é evitar o sobredimensionamento do sistema para casos de consumos de pico.

A energia entregue à rede tem que cumprir requisitos de qualidade e segurança, implicando dimensionamento adequado e um controlo rigoroso.

As instalações ligadas à rede são munidas de um contador de energia, que regista a energia injetada na rede. O preço da energia vendida à rede depende da tecnologia de produção, existindo diferentes preços para a captação de energia eólica, fotovoltaica, mini-hídrica entre outras. O preço de venda da energia é muito superior ao preço de compra, o que permite ao produtor/consumidor tirar proveito económico desta prática. [edp.pt, 2012]

A energia entregue à rede deve ser alternada, por consequente deve passar por um inversor DC/AC, transformando a energia contínua produzida pelos painéis, em energia alternada. [Ruther, 1999]

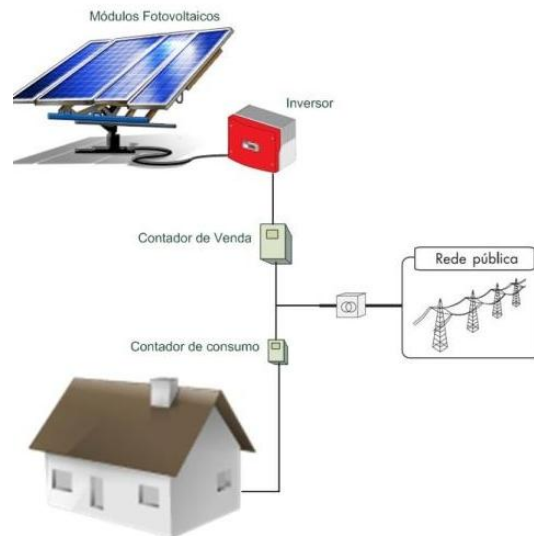


Figura 2.5 – SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE PÚBLICA [aveirorenovaveis.blogspot.com, 2012]

2.7. TECNOLOGIA DE CONVERSÃO EÓLICA

2.7.1. AEROGERADORES

Os aerogeradores, ou turbinas eólicas, são equipamentos concebidos para transformar a energia cinética do vento em energia mecânica e por sua vez convertê-la em energia elétrica. Os aerogeradores eólicos podem ser classificados segundo o seu eixo: vertical ou horizontal.

2.7.1.1. AEROGERADOR DE EIXO HORIZONTAL

As forças que originam o movimento das pás do aerogerador de eixo horizontal são: força de arrasto e força de sustentação. A força de sustentação é responsável pelo maior esforço exercido nas pás, estando influenciada pela aerodinâmica do aerogerador. Para usufruir do aproveitamento ideal desta força, o aerogerador é dotado de mecanismos de orientação do vento permitindo que área de varrimento das pás esteja perpendicular a orientação do vento.

Atualmente os aerogeradores mais utilizados são os de eixo horizontal, habitualmente dotados de 3 pás. A sua classificação é apresentada de acordo com a posição do rotor

em relação ao vento: upwind se o rotor estiver frente ao vento; downwind se o vento estiver pela retaguarda do rotor.

A turbina downwind apresenta como vantagem em relação a turbina upwind a desnecessidade da aplicação do mecanismo de orientação do vento, apresentando no entanto a desvantagem de sofrer a ação do atrito, na passagem de vento pela torre, causando perdas de rendimento e aumento do ruído.

Apesar da desvantagem do uso de mecanismo de orientação, as turbinas upwind têm sido as mais utilizadas atualmente, devido à redução de vibração na torre, causada pelo movimento das pás [power-talk.net, 2012].

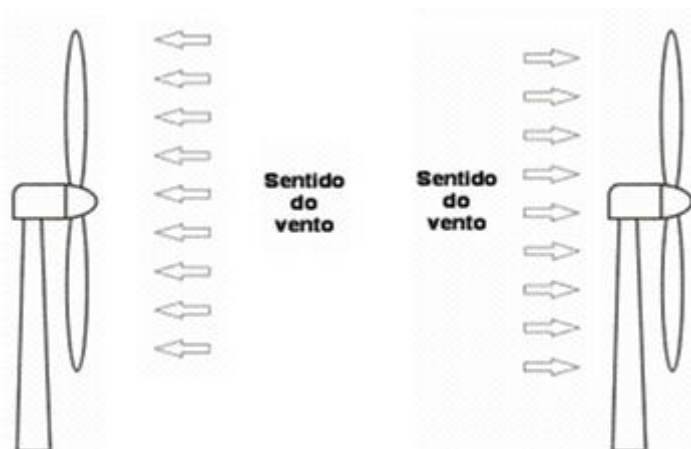


Figura 2.6 – AEROGERADOR UPWIND VS AEROGERADOR DOWNWIND [e-lee.ist.utl.pt, 2012]

2.7.1.2. AEROGERADOR DE EIXO VERTICAL

Os aerogeradores de eixo vertical são caracterizados pela rotação das pás num plano paralelo à direção do vento.

A principal vantagem destes aerogeradores face aos aerogeradores de eixo vertical deve-se ao facto de funcionarem a velocidades de vento mais baixas. Sendo mais indicados para locais onde os ventos são perturbados por obstáculos, como edifícios ou árvores. Outro fator positivo deve-se à não utilização de mecanismos de orientação de vento, no entanto, apresenta a desvantagem de falta de avanço tecnológico, o que os torna menos comercializados, refletindo-se num preço elevado. O facto de serem mais silenciosos torna-se numa tecnologia mais atrativa para meios urbanos como se observa na figura 8. [Ackermann,2005]



Figura 2.7 – AEROGERADORES DE EIXO VERTICAL INSTALADOS NO GREENWAY SELF PARK
[designslinger.com, 2012]

2.7.2. REGULADORES DE CARGA

A instalação de módulos fotovoltaicos em sistemas isolados requer o uso de baterias para armazenar a energia, para posteriormente ser utilizada em momentos de reduzida ou ausência de produção, sobretudo em dias encobertos ou durante a noite.

O uso de baterias implica a colocação de reguladores de carga para assegurar o correto funcionamento destas, tanto na carga como na descarga.

No processo de carga e descarga os reguladores controlam a corrente da bateria permitindo assim:

- Evitar a sobrecarga das baterias, desligado o sistema de produção quando as baterias estão carregadas;
- Evitar a descarga total, desconectando as baterias quando for atingido o nível mínimo de carga.

Os reguladores mais comuns associados à produção fotovoltaica são classificados da seguinte forma:

Reguladores série: são constituídos por interruptores eletrônicos em série com o módulo fotovoltaico, deste modo permitindo a abertura do circuito entre as baterias e o

painel fotovoltaico, nas situações de carga total da bateria ou quando o limite de descarga é ultrapassado.

Reguladores paralelo: a constituição dos reguladores paralelo é muito semelhante aos reguladores série, excetuando a posição dos interruptores eletrónicos em relação ao módulo fotovoltaico, que nesta tipologia se encontra em paralelo. Esta tipologia distingue-se da regulação série, em situações da carga total da bateria, a regulação paralelo permite curto-circuitar os condutores dos módulos fotovoltaicos, evitando que durante a noite correntes inversas circulem das baterias para os painéis.

Reguladores Maximum Power Point Traking (MPPT): esta tecnologia possui as mesmas características anteriormente mencionadas, distinguindo-se no facto de possuir um sistema de pesquisa que permite colocar o sistema a funcionar no ponto de funcionamento ideal.

A tecnologia MPPT permite em situações de diminuição de tensão colmatar esta situação com o incremento de tensão gerada pelo regulador. Uma destas situações de diminuição de tensão é a passagem de nuvens pelo painel fotovoltaico, que provoca uma alteração da tensão de saída do painel. Deste modo, se a tensão de saída do painel fotovoltaico apresentada for inferior à tensão presente na bateria, não ocorrerá transferência de carga entre o painel e a bateria. Desta forma os reguladores MPPT são os que mais se adequam a sistemas fotovoltaicos isolados.

Relativamente aos reguladores MPPT, estes requerem maior complexidade na sua construção, visto que são constituídos por um conversor interno DC/DC, que impõe ao sistema o alcance do ponto de potência máximo. Esta complexidade de construção torna o seu preço mais elevado em comparação com os reguladores serie e paralelo. [Morais, 2009]

2.8. **CONVERSORES ELETRÓNICOS DE POTÊNCIA**

2.8.1. **CONVERSORES DC/AC**

Os conversores DC/AC designados também por inversores são utilizados geralmente para fazer a interligação entre os geradores fotovoltaicos e a rede elétrica, sendo

habilitados para efetuar a conversão de um sinal contínuo (DC) num sinal alternado (AC), bem como o ajuste da frequência e do nível de tensão.

Mediante o campo de aplicação os inversores possuem características distintas, podendo subdividir-se em dois campos de aplicação: inversores ligados a rede ou inversores autónomos, estando os últimos mais focalizados para com o projeto em estudo.

Os inversores ligados a rede pública possibilitam a injeção direta de energia gerada pelos painéis fotovoltaicos na rede, os inversores presentes podem ser auto comutados ou comutados pela rede.

Os inversores autónomos utilizados em sistemas fotovoltaicos isolados tem a capacidade de converter o sinal de contínuo da bateria num sinal alternado para alimentar as cargas que lhe estão acopladas.

Para o dimensionamento adequado de um inversor autónomo é necessário ter em conta os seguintes requisitos: a potência nominal do inversor ser superior à potência total das cargas a alimentar; possuir capacidade para suportar correntes elevadas de arranque sempre que necessário, a fiabilidade do equipamento, a sua eficiência de conversão ser elevada e o seu consumo de energia em standby ser reduzido. [Dürschner; Antony; Remmers, 2007]

2.8.2. CONVERSORES AC/DC

Os conversores AC/DC são equipamentos dotados para converter um sinal alternado num sinal contínuo, são designados também por retificadores.

Os retificadores eletrónicos podem classifica-se como retificadores controlados, semi-controlados ou não controlados. Os retificadores não controlados são incapazes de controlar a tensão de saída, são constituídos por díodos dispostos em ponte como elementos de retificação, a conversão pode ser dotada de filtragem indutiva ou capacitiva gerando diferentes formas de onda de saída.

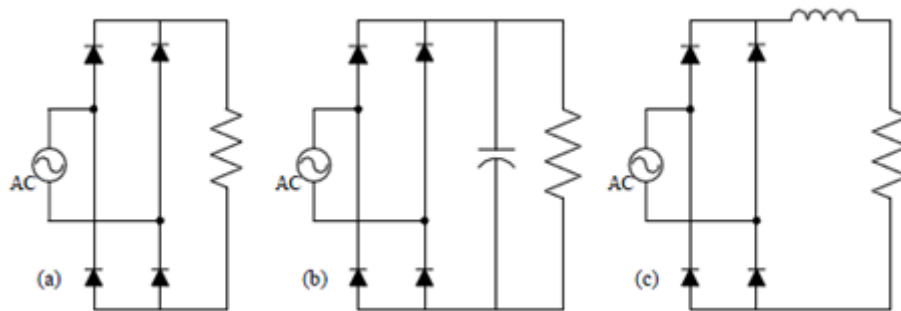


Figura 2.8 – RETIFICADOR MONOFÁSICO: A) SEM FILTRO, B) COM FILTRO CAPACITIVO, C) COM FILTRO INDUTIVO [dei.uminho.pt]

Os retificadores semi-controlados têm a capacidade de controlar a tensão de saída, sendo constituídos por díodos e tirístores como elementos de retificação, a sua forma de onda de saída depende igualmente do filtro usado, capacitivo ou indutivo como se observa na figura 9. A mais-valia dos retificadores semi-controlados, em comparação com os retificadores não controlados, reside na possibilidade de ajuste do valor médio da tensão de saída, embora a parte negativa ainda seja retificada pelos díodos.

Os retificadores totalmente controlados são compostos somente por tirístores dispostos em ponte, são utilizados normalmente para acionamento de motores elétricos, tem como função a possibilidade de ajuste do valor médio da tensão de saída e o controlo da tensão de entrada positiva e negativa. [Pomilio, 2009] [dei.uminho.pt]

2.9. BATERIAS

Atualmente as baterias químicas disponíveis no mercado podem ser classificadas de duas formas:

Baterias primárias: apresentam na sua composição elementos com características que não toleram a receção de energia;

Baterias secundárias: apresentam na sua composição elementos com características que permitem a receção de energia, mediante o fornecimento de corrente elétrica aos seus terminais.

Relativamente aos sistemas fotovoltaicos, as baterias secundárias são as que melhor se adequam a este sistema devido a sua capacidade de recarga. O armazenamento de energia em baterias secundárias permite alimentar as cargas em situações de ausência produção de energia fotovoltaica, geralmente durante o período da noite, e fornecer energia à carga durante o dia, no caso da produção fotovoltaica ser insuficiente.

O ponto 2.9. descreve as diversas tecnologias associadas às baterias secundárias, que são as mais relevantes para o projeto em causa, não tendo sido efetuado um estudo aprofundado ao nível da constituição e do princípio de funcionamento das baterias, mas apenas apresentada a informação necessária para dimensionar e selecionar as possíveis baterias a utilizar no presente projeto.

2.9.1. BATERIA ÁCIDO-CHUMBO

As baterias de ácido chumbo são constituídas por placas de chumbo submersas em ácido, o ácido mais comum utilizado nesta tecnologia é o ácido sulfúrico.

As baterias de ácido chumbo destacam-se pela sua elevada aplicação no armazenamento de energia proveniente de fontes renováveis, nomeadamente fontes eólicas e fotovoltaicas. A extrema adesão a esta tecnologia deve-se sobretudo a sua elevada fiabilidade e ao seu preço de aquisição reduzido.

No entanto, apresenta diversas desvantagens ao nível da carga e descarga. Em relação ao nível de descarga, se for efetuada uma descarga total da bateria, o número de ciclos da bateria reduz drasticamente. Relativamente ao nível de carga, se for efetuada uma sobrecarga excessiva, a vida útil da bateria reduz intensamente.

As baterias com tecnologia de ácido chumbo são muito suscetíveis a variações de carga, implica que não suportem correntes de carga elevadas, traduzindo-se num maior tempo de recarga da bateria. Ao nível da descarga a limitação que enfrenta esta tecnologia deve-se à diminuição gradual da tensão ao longo da descarga da bateria, conduzindo à instabilidade de tensão no sistema.

A tecnologia presente é fortemente influenciada pela temperatura ambiente no local onde está instalada, alterando assim a sua capacidade de carga nas seguintes situações:

Temperatura ambiente baixa: a sua capacidade de carga diminui, reduzindo assim a sua autonomia; Temperatura ambiente alta: a sua capacidade de carga aumenta, reduzindo assim sua vida útil. [Stevens, Corey, 1996]

Embora apresente todas as limitações referidas, ainda representa uma cota de mercado de 60% das vendas totais de todos os tipos de baterias no mundo, deve-se não só ao crescimento da indústria automóvel, mas também à reduzida manutenção necessária. [nrđcindia.com, 2012]

2.9.2. BATERIA NÍQUEL-CADMIO

As baterias de níquel-cadmio são compostas por um ânodo e um cátodo, sendo o ânodo constituído por hidróxido de níquel e o cátodo constituído por cadmio.

Esta tecnologia possui a desvantagem do seu preço de aquisição ser superior à tecnologia de ácido chumbo, no entanto esta desvantagem é compensada com inúmeras vantagens, nomeadamente ao nível de carga, devido a capacidade de receber correntes elevadas, tornando o recarregamento mais rápido. Distingue-se também por ser uma tecnologia mais imune às variações de carga e de temperatura

A grande limitação das baterias de níquel cadmio é o facto de estas serem portadoras do “efeito memória”, obrigando a cargas e descargas completas da bateria evitando a viciação.

O campo de aplicação das baterias de níquel cádmio corresponde, na sua maioria, a equipamentos portáteis domésticos, como telefones sem fios e ferramentas elétricas.

2.9.3. BATERIA DE NÍQUEL-HIDRETOS METÁLICOS

A constituição destas baterias é muito semelhante as baterias de níquel cádmio excetuando na constituição do cátodo, sendo este composto por uma liga de hidretos metálicos. A principal distinção desta tecnologia, relativamente à tecnologia de níquel cádmio, está presente no avanço tecnológico associado a anulação do “efeito de memória”, conhecido também pelo “efeito de viciação”.

Apresenta limitações ao nível da elevada taxa de descarga, que dá origem a descarga da bateria, mesmo desacoplada de qualquer carga. Relativamente ao preço de aquisição é superior a bateria de níquel cádmio. [Martins, 2007]

2.9.4. BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO

As baterias de iões de lítio são compostas por um cátodo de lítio e um ânodo de carbono. Esta tecnologia apresenta as seguintes características:

Quanto ao nível de carga, pode ser efetuado de forma rápida visto que suportam correntes elevadas e não existe o efeito de memória. [<http://pt.wikipedia.org>, 2012]

Quanto à densidade de energia, é elevada. Bateria com capacidade elevada e peso reduzido.

Quanto ao número de ciclos, é elevado. De 300 a 4700 ciclos, dependendo da profundidade de descarga. [<http://batteryuniversity.com>, 2012]

Quanto ao nível de tensão, esta é praticamente constante ao longo da descarga da bateria, permitindo uma estabilidade de tensão no sistema.

Quanto ao impacto ambiental, não constitui materiais tóxicos na sua construção, nem liberta vapores, não causando perigo para o ambiente.

Quanto às limitações, estão relacionadas com preço de aquisição excessivo e envelhecimento prematuro, originando a redução capacidade de carga.

O seu campo de aplicação é geralmente dirigido a equipamentos eletrónicos portáteis, como telemóveis e computadores portáteis, dada a sua construção moldável, o seu peso e volume reduzido com se observa na figura 2.9.

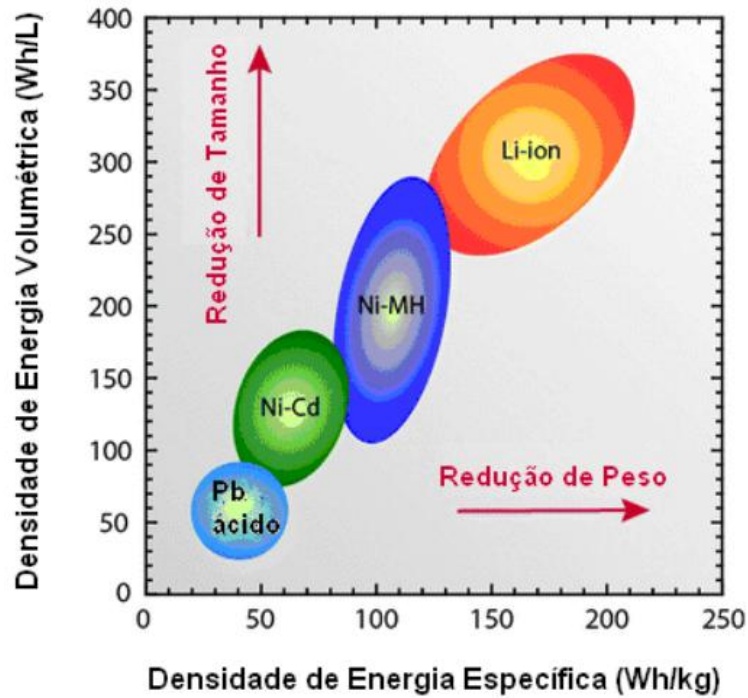


Figura 3 – RELAÇÃO TAMANHO/PESO PARA AS VÁRIAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA [imtt.pt, 2012]

2.10. TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO FOTOVOLTAICA:

As tecnologias de conversão desenvolvidas até aos dias de hoje dividem-se:

- Silício cristalino (monocristalino ou policristalino)
- Películas finas aplicadas em substratos rígidos (silício amorfo)
- Películas finas aplicadas em substratos flexíveis (nanotecnologia)
- Tecnologia de concentração (espelhos ou lentes)

2.10.1. SILÍCIO MONOCRISTALINO

A tecnologia monocristalina é a tecnologia com maior tempo de existência, no entanto é ainda extremamente utilizada em potências médias e elevadas.

É uma tecnologia que mantém o seu preço de aquisição elevado, devido à necessidade de obter no momento de fabrico um elevado grau de pureza do silício, na ordem dos 99,99%.

As células podem ser concebidas de diversos formatos, redondo, quadrado ou semi-quadrado. As células de formato redondo possuem menores perdas de fabrico na sua construção, logo são as mais baratas, no entanto apresentam a desvantagem de ao ser colocadas nos painéis, ocupar uma maior área, permitindo desperdício de área útil do painel. A sua espessura de corte é muito reduzida, 0.3mm, o que se torna ótimo para implementar em locais onde seja útil a sua transparência, normalmente para uso doméstico.

A eficiência dos painéis monocristalinos varia entre 13 e 17%, podendo em ensaios de laboratório atingir os 24%. [Castro, 2008]

Os painéis monocristalinos distinguem-se fisicamente dos painéis policristalinos por tomarem cor azul-escuro e possuírem maior espaçamento entre células quando dispostas no painel.

2.10.2. SILÍCIO-POLICRISTALINO

Os painéis de silício policristalino têm um preço de aquisição inferior aos painéis monocristalinos. As células policristalinas podem tomar formatos quadrados ou retangulares permitindo uma melhor disposição no painel, maximizando o aproveitamento da área útil do painel. O que torna os preços por Watt pico produzido pelas tecnologias policristalina e monocristalina muito semelhantes.

As células policristalinas possuem uma eficiência menor que as células monocristalinas devido a impureza do silício na sua construção, podendo atingir valores de eficiência energética na ordem dos 11 a 14%. [Castro, 2008]

2.10.3. SILÍCIO-AMORFO

O silício puro é um elemento químico muito utilizado nas tecnologias fotovoltaicas. A tecnologia de silício-amorfo surgiu no mercado com o intuito de minimizar os consumos de silício associados à construção de sistemas fotovoltaicos.

A tecnologia de silício amorfo pertence a categoria de películas finas aplicadas a substratos rígidos. As películas finas podem ser constituídas de diversas matérias, desde silício amorfo, disselenieto de cobre e índio (CIS) e o telurieto de cádmio, os substratos flexíveis podem ser constituídos por vidro, plástico ou aço inox. O facto desta tecnologia ser composta por substratos flexíveis permite a sua utilização em substituição de materiais de construção civil, como por exemplo revestimento de telhados ou fachadas, obtendo proveito económico desta prática.

As painéis de silício amorfo possuem um preço final mais reduzido quando comparado com os painéis policristalinos, dada a possibilidade de produção automatizada em série, reduzindo assim os custos de construção fabril.

A principal limitação desta tecnologia está associada a reduzida eficiência, podendo atingir somente os 6%. O facto de a eficiência ser reduzida deve-se ao processo de degradação que as células sofrem nos primeiros meses de funcionamento. [Castro, 2008]

2.10.4. NANOTECNOLOGIA DE SUBSTRATOS FLEXÍVEIS

A nanotecnologia de substratos flexíveis é designada pela 3ª geração das tecnologias de conversão fotovoltaicas, consiste na aplicação de películas finas CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio) em substratos flexíveis.

Esta tecnologia apresenta inúmeras vantagens em relação às tecnologias mencionadas anteriormente, destacando-se na sua extrema flexibilidade, no seu peso reduzido e na sua característica inquebrável. O facto de não exigir acessórios na sua montagem permite reduzir o custo de instalação em 30% em relação as tecnologias mencionadas anteriormente.

O seu preço de aquisição é mais reduzido comparativamente com as tecnologias de silício embora exija uma área de instalação muito mais elevada. A sua eficiência de conversão está na ordem dos 18% em laboratório, no entanto os módulos comercializados não ultrapassam os 13% [Contreras, Mansfield, Egaas, Li, Romero, Noufi, 2011].

2.10.5. TECNOLOGIA DE CONCENTRAÇÃO

O processo de conversão da tecnologia de concentração é similar as tecnologias convencionais baseadas em silício, distinguindo-se apenas no incremento de sistemas óticos permitindo a concentração da radiação solar na célula fotovoltaica.

Os sistemas óticos de concentração podem ser constituídos por lentes ou espelhos. As lentes geralmente adotadas nos painéis de concentração são as lentes de Fresnel, estas possibilitam a refração da radiação solar até à célula, enquanto os painéis que adotam espelhos na sua construção permitem a reflexão da luz solar até à célula.

Um sistema ótico de concentração pode decompor-se em 3 classes, classe de baixa concentração até 10 vezes o poder de ampliação, classe de média concentração entre 10 a 100 vezes de poder de ampliação e classe de alta concentração possibilitando até 1000 vezes o poder de ampliação.

A utilização destes sistemas óticos de concentração tem como principal objetivo a redução da área celular. Ao introduzir as lentes ou espelhos nos painéis fotovoltaicos de concentração, permite convergência da luz solar numa área mais pequena, dando origem a redução do tamanho das células, proporcionando assim o baixo custo nas células, que constitui um fator determinante no preço final dos módulos.

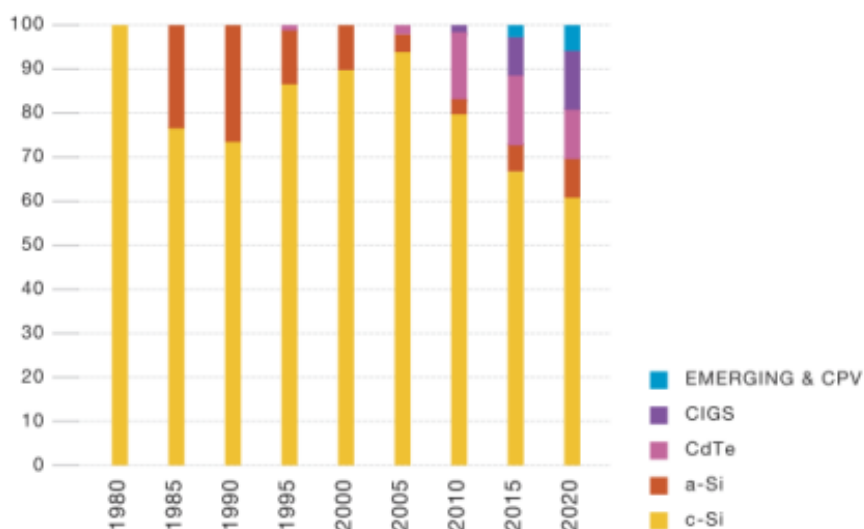


Figura 2.10 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA E TENDÊNCIAS FUTURAS [ec.europa.eu, 2012]

Esta tecnologia tem um ótimo desempenho quanto submetidas a temperaturas elevadas, com perdas de cerca de 4%, um valor muito baixo comparando com os outros modelos baseados em silício que chegam aos 22%.

No entanto, em momentos de precipitação o rendimento é inferior aos outros sistemas baseados em silício, devido a infiltração de água nos sistemas óticos, originando perdas de reflexão ou refração solar.

Uma das limitações presentes nestes sistemas inclui a instalação de equipamentos seguidores solares de modo que a radiação solar seja sempre dirigida para os sistemas óticos permitindo a maximização da produção de energia gerada. [Calaia,2011]

2.11. DÍODO EMISSOR DE LUZ (LED)

A tecnologia led é utilizada cada vez mais nos dias de hoje em substituição das lâmpadas convencionais incandescentes. A crescente adoção desta tecnologia deve-se ao seu amplo campo de aplicação, como por exemplo em painéis publicitários ou informativos, iluminação viária, iluminação automóvel, sinalização rodoviária, telemóveis, iluminação decorativa, etc.

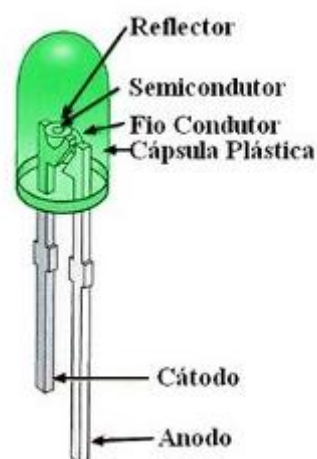


Figura 2.11 – CONSTITUIÇÃO DE UM LED [electronica.pt, 2012]

Esta secção apresenta uma abordagem à tecnologia led, dada a aplicação de sistemas baseados em led em sistemas de iluminação exterior decorativa.

O processo de emissão de luz é chamado de efeito de eletroluminescência que se origina quando é aplicada uma tensão, gerada por um circuito externo, entre o ânodo e o cátodo. Se esta tensão for adequada provoca a formação de pares elétron lacuna e a energia em excesso é libertada sob a forma de fótons (luz).

Os díodos emissores de luz distinguem-se díodos de silício ou germânio pela libertação de energia sob a forma de calor, ao invés de luz. [ave.dee.isep.ipp.pt, 2012]

A figura que se segue faculta o espectro luminoso para os diferentes led dependendo do tipo de dopagem e concentração.

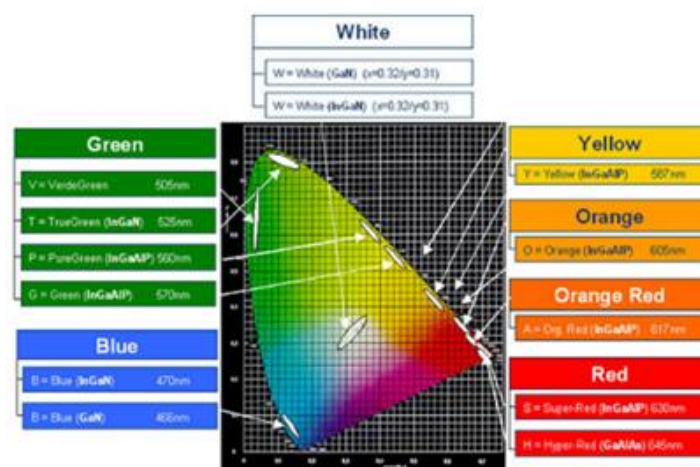


Figura 2.12 – ESPECTRO LUMINOSO DOS DIFERENTES TIPOS DE LED [ave.dee.isep.ipp.pt, 2012]

O led que permite a emissão de radiação infravermelha é o led de arsenieto de gálio e alumínio (AlGaAs). A emissão de luz pode ser vermelha ou amarela se dopada com fosforo, a distinção entre as duas cores deve-se a concentração composta por FosfoArsenieto de Gálio (GaAsP).

Quanto aos led brancos, estes são pertencentes aos díodos emissores de cor azul, em que, absorvem a cor azul e emitem a luz branca provocada pelo revestimento da camada de fosforo, o princípio de funcionamento é semelhante ao utilizado nas lâmpadas fluorescentes.

A tensão nominal de funcionamento dos led difere de acordo com a sua cor, os leds vermelhos, verdes e amarelos geralmente funcionam a uma tensão entre 2,1 e 2,5V, enquanto os leds azuis e brancos necessitam de tensão superior a 3V.

Relativamente a corrente máxima direta dos led é na ordem dos 20 mA, este parâmetro é muito importante e deve ser respeitado, que quando ultrapassar o led entrará em rotura, queimará e deixará de funcionar. É importante realçar que a intensidade luminosa varia proporcionalmente com o fluxo de corrente direta que atravessa o led quando diretamente polarizado, ou seja, quanto maior for a corrente que atravessa o led maior é a intensidade luminosa emitida por este. [electronica.pt, 2012]

3) ALIMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA EXTERIOR

3.1. ATIVIDADE DA EMPRESA

A empresa Castros, Iluminações Festivas SA é uma empresa portuguesa localizada em São Félix da Marinha. A empresa completa 90 anos de existência no mercado, produz de norte a sul do país, mostrando-se também dinamizadora a nível internacional. Posto isto, é de salientar que a empresa se dedica à iluminação decorativa, visando procurar continuamente soluções que se diferenciem, não só pela sua beleza, originalidade e modernidade de design, mas também pela sensibilidade ecológica associada ao baixo consumo.

A empresa Castros foi das primeiras empresas no mercado nacional de iluminações a revelar uma consciência orientada para a eficiência energética, tendo sido pioneira em 1987 na introdução de micro lâmpadas de baixo consumo, em substituição das lâmpadas tradicionais de 15W em uso na época, o que veio permitir não só uma poupança de energia de cerca de 50%, como a obtenção de contornos mais rigorosos na criação das esculturas de luz produzidas. É importante referir que neste mesmo ano a empresa deu início ao uso do computador, utilizando-o como instrumento de trabalho para eventuais projetos. Nesta época a empresa já mostrava indícios inovadores e vontade de usufruir das novas tecnologias.

1996 - Assinala a primeira internacionalização, Castros desloca-se a Barcelona para efetuar um trabalho de iluminações natalícias.

2004 - Ano de relevo para a empresa, Castros instituiu mais um importante marco ao introduzir a tecnologia LED nas iluminações festivas, passando a economizar 80% em relação às micro lâmpadas.

2005 - Alcança-se a primeira distinção internacional no concurso Thionville Lumières em França, na localidade homónima, onde conquista o primeiro prémio, feito que no ano seguinte se repete e é superado, com a atribuição, além do primeiro prémio na geral, também o prémio de design e inovação.

2006 - É um ano especial: a Castros ganha pela primeira vez o concurso para uma das principais artérias do comércio internacional, South Molton Street, em Londres.

2010 - É mais um ano que veio trazer à grande família Castros motivos de orgulho e inspiração para continuar com a atitude inovadora e pioneira que desde sempre a caracterizaram, assegurando a confiança necessária para que os trilhos do futuro continuem a ser marcados pelo sucesso.

O prémio no Festival LED- Light Exhibition Design, ganho em Milão, considerado por muitos, capital do Design, foi disso exemplo. Um concurso que posicionou os designers da Castros entre as excelências criativas que foram chamadas a decorar com luz a respetiva metrópole.

A sua aposta constante nas mais recentes tecnologias, desenvolvendo decoração iluminativa de topo e verdadeiramente diferenciadora. Talvez por isso se compreenda que tenhamos cada vez mais presença além-fronteiras, nomeadamente em Inglaterra, França, Espanha, Chipre, Itália e com projetos executados em diversos países africanos [Castros.com.pt-1, 2012].

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A aplicação de leds em circuitos de iluminação decorativa torna-se uma solução atraente, proporcionando um reduzido consumo e uma excelente versatilidade de instalação.

No que respeita à instalação decorativa, os leds de alta luminância ou alta potência são utilizados com bastante frequência podendo tomar diversas cores. Os led de cor branca requerem maior complexidade de tecnologia, a sua cor branca pode ser obtida de duas formas distintas: através da absorção de cor azul e emissão de cor branca, como já foi referido anteriormente; ou através da aplicação de três led de cores pertencentes à região espectral vermelha, verde e azul. A junção destas três cores produz a sensação de luz branca, sendo esta opção muito pouco utilizada em sistemas decorativos dada a dificuldade de preservação da cor devido ao envelhecimento, e ao seu preço ser mais elevado.



Figura 3.1 – ILUMINAÇÃO DECORATIVA NA TORRE DO CRISTO REI EXECUTADA PELA EMPRESA CASTROS,SA [castros.com.pt-2, 2012]

A aplicação de led em iluminação decorativa oferece maior qualidade de iluminação, bem como melhor definição de relevo dos objetos que pretende decorar. A iluminação por led distingue-se da iluminação convencional por apresentar um vasto leque de cores, permitindo obter praticamente qualquer cor de luz.

Outra das motivações para a utilização de led deve-se ao facto de conseguir obter os mesmos níveis de iluminância que outras fontes de luz, mas com potências inferiores, correspondendo a um menor consumo de energia elétrica. A vida útil do led é um aspeto positivo dada a sua longevidade, levando a menores custos de manutenção. A ausência de mercúrio na sua constituição apresenta vantagens ecológicas comparativamente com fontes de luz que na sua constituição contem mercúrio.

Conclui-se, então, que a tecnologia de led é a mais adequada, tanto energeticamente como ecologicamente, para a iluminação decorativa. [Garrido, 2010]

3.3. SISTEMAS SIMILARES EXISTENTES

Este ponto consiste na demonstração de situações similares ao projeto em estudo. A tecnologia aplicada consiste no aproveitamento de energia eólica e fotovoltaica para a iluminação decorativa.

Sistema fotovoltaico aplicado árvore de Natal em Rockefeller Center



Figura 3.2 – ÁRVORE DE NATAL EM ROCKEFELLER CENTER [inhabitat.com-1, 2012]

O Rockefeller Center situa-se na cidade de Nova York, no ano de 2007 recebeu pela primeira vez uma árvore da natal decorada por led. É decorada com mais de 30.000 lâmpadas, permitindo aumentar a sua eficiência energética ao substituir as luzes convencionais pelos led.

Para além desta substituição, que permite uma redução do consumo em cerca de 60%, a alimentação das luzes da natal é efetuada por 363 painéis fotovoltaicos de 170 Wp, instalados no telhado do edifício Rockefeller Plaza. O sistema fotovoltaico está dimensionado para fornecer energia aos leds da árvore de natal durante 42 dias por ano. [altpower.com, 2012]

Sistema fotovoltaico aplicado ao parque de estacionamento de Santa Monica Civic Center.

O parque de estacionamento de Santa Monica Civic Center foi o primeiro parque automóvel a receber a “Certificação Led” pela Green Building Council nos Estados Unidos.



Figura 3.3 – PARQUE DE ESTACIONAMENTO DE SANTA MONICA CIVIC CENTER [inhabitat.com-2, 2012]

Este edifício dispõe de 900 lugares distribuídos pelos 6 pisos, é dotado de diversas práticas sustentáveis, como por exemplo reserva de lugares para veículos elétricos com tomadas de carregamento e parque gratuito de bicicletas. A prática sustentável que mais se realça é a produção de energia através de painéis fotovoltaicos para iluminação e decoração da fachada do parque de estacionamento através da tecnologia led.

Os painéis fotovoltaicos de 213 kW foram colocados no último piso, funcionando como telhado e fornecendo também sombra aos veículos estacionados como se observa na figura 3.3 [smgov.net, 2012].

Sistema híbrido aplicado à iluminação pública

Os sistemas híbridos associados à iluminação pública viária permitem a produção da energia através de painéis fotovoltaicos e de aerogeradores, para alimentar a luminária constituída por led.

A implementação de sistemas híbridos em iluminação pública é útil em circunstâncias em que os painéis fotovoltaicos não produzem energia, como em dias muito chuvosos

ou durante a noite, colmatando a energia em falta nas baterias pela energia produzida pelos aerogeradores.

A capital da China, Pequim, em 2007 promoveu um plano de energia renovável, que permitiu fazer os Jogos Olímpico “verdes”. O plano consistiu em instalar 8 a 10 mil luminárias solares viárias na periferia da cidade, próximo da Grande Muralha.

A problemática que surge em Pequim é o seu clima ser instável, o que se traduz num sobredimensionamento das baterias e dos painéis tornando o sistema mais caro.

Os painéis fotovoltaicos são de potência superior ou igual a 200 W e a capacidade das baterias é de 300 Ah para poder suportar uma semana chuvosa. Para contrariar tal facto foram instalados pequenos aerogeradores.



Figura 3.4 – PRIMEIRO POSTE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA ALIMENTADO 100% POR ENERGIAS EÓLICA E SOLAR [minasgerais.blogspot.com, 2012]

Pretende-se que cada luminária funcione entre 6 a 8 horas por noite. Este sistema híbrido foi dimensionado para funcionar durante 72 h sem sol nem vento. As lâmpadas usadas são equiparadas às incandescentes de 300 W de potência, fornecendo 6000 lm de fluxo luminoso.

O aerogerador MW-400-24 utilizado pode fornecer num dia, a uma velocidade média do vento de 5 m/s, 30 Ah. Enquanto os painéis fotovoltaicos podem fornecer 9 Ah num dia normal. Podem debitar 9 Ah considerando o funcionamento diário de 3 h.

Com a instalação das lâmpadas de 70W permite ao sistema uma autonomia de 3 dias a funcionar 8h por noite. O consumo de cada lâmpada por dia é de 23,3 Ah [macro-wind.com].

4) MICROGERAÇÃO FOTOVOLTÁICA DESTINADA A ALIMENTAR ELEMENTOS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA

4.1. CASO DE ESTUDO:

Neste capítulo pretende-se fazer o projeto para alimentação de um arco de led decorativo, cuja potência é da ordem dos 30W, a funcionar diariamente das 18:00h as 00:00h, ou seja, 6 horas diárias de funcionamento, previsto para os meses de Setembro a Dezembro. A cidade do Porto é o local previsto para a implementação do projeto em estudo.

4.2. DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA

Para uma perceção mais adequada da composição do sistema, podemos observar na figura 18 o diagrama de blocos do projeto em estudo, apresentando a interligação dos componentes do sistema.

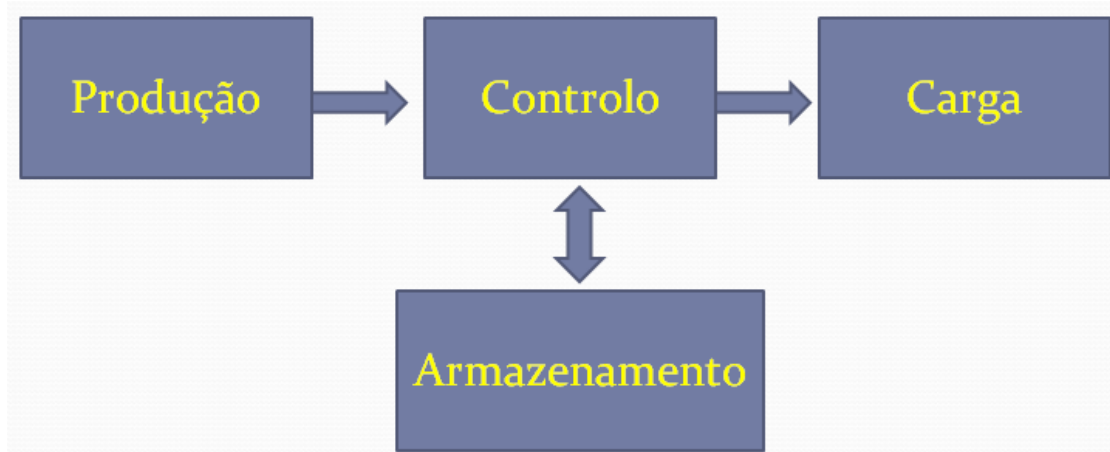


Figura 4.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA

O bloco de produção é responsável pela geração de energia elétrica, que é entregue ao bloco de controlo, a funcionalidade do bloco de controlo é, enviar a energia gerada na produção para o armazenamento, ou diretamente para a carga.

O bloco de controlo possui também a seu cargo uma proteção para bateria, evitando que esta sobrecarregue ou descarregue profundamente.

O bloco de armazenamento é utilizado para acumular energia elétrica, que irá ser consumida pela carga nas horas de reduzida ou ausência de produção.

O bloco carga é o elemento que pretendemos alimentar com energia proveniente da bateria ou diretamente do bloco produção.

4.3. **DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DA POTÊNCIA DE PRODUÇÃO**

O sistema que se pretende dimensionar não é mais que um sistema fotovoltaico isolado. Distinguindo-se de um sistema fotovoltaico isolado por apresentar alguns entraves suplementares. O primeiro entrave deve-se ao facto do peso do sistema a executar ter de ser o mais leve possível, para que a estrutura do arco de led decorativo o possa suportar, outra limitação a ter em atenção é o caso do sistema ser de certa forma decorativo ou oculto, evitando o impacto visual, dado ser um arco de decoração de ruas.

Para dar início ao dimensionamento elétrico em questão é necessário o conhecimento das características da carga a alimentar, nomeadamente: a tensão de alimentação, a potência absorvida e o tempo de funcionamento diário. Com estas características é possível determinar qual o regulador de carga, a bateria e os painéis necessários a aplicar no caso de estudo.

O conhecimento dos dados acima mencionados possibilita o cálculo da energia ativa absorvida pela carga diariamente, que é obtida pela expressão:

$$W_D = P_C \times t_f \quad (2)$$

Onde P_C é o valor da potencia nominal da carga e t_f representa o tempo de funcionamento diário da carga. Como a nossa carga é composta por um circuito de

led com uma potência nominal de 30W, o tempo de funcionamento é de 6h diárias implica um consumo de energia diária de 180Wh.

Após determinar o consumo de energia da carga, é necessário estabelecer o valor da inclinação do painel fotovoltaico, uma vez que o sistema é de baixa potência, o que não justifica o uso de seguidor solar. Logo será necessário decidir a inclinação mais favorável para o “pior” mês, isto a inclinação ideal para o mês de menor exposição solar.

Para determinar a inclinação ideal para o “pior” mês entre Setembro e Dezembro recorreu-se ao simulador online PVGIS [re.jrc.ec.europa.eu/pvgis] para os mapas europeus. Selecionou-se a cidade do Porto e o separador radiação mensal, sendo obtido o seguinte resultado:

TABELA 4.1 - INCLINAÇÃO IDEAL PARA OS MESES DO ANO

Month	H_h	H_{opt}	$H(64)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1930	3230	3640	64	9.8	231
Feb	2540	3610	3760	54	10.5	195
Mar	4120	5190	4970	43	13.0	115
Apr	4920	5270	4480	26	13.8	116
May	6040	5870	4560	16	16.2	35
Jun	6830	6330	4670	7	19.5	3
Jul	6670	6330	4760	11	21.0	1
Aug	6240	6500	5300	22	21.3	2
Sep	4760	5720	5260	38	19.3	22
Oct	3250	4510	4600	51	16.6	78
Nov	2040	3200	3500	61	12.5	205
Dec	1550	2590	2930	64	10.3	230
Year	4250	4870	4370	34	15.3	1233

É possível verificar na tabela 4.1 que o mês de menor irradiação no plano horizontal (H_h) é o mês de Dezembro, a sua inclinação ideal (I_{opt}) é de 64°.

Conhecido o angulo de inclinação ideal para o mês de Dezembro, sendo este o “pior” mês em termos de irradiação solar, obtemos os valores de irradiação total média diária através do simulado PVGIS, selecionando o separador Estimação PV.

Obtida a radiância total média diária (H_{64}) para 64° com o valor de 2930 Wh/m^2 e dia procedemos ao cálculo do número de horas de pico de sol (HPS), ou seja, o número de horas equivalente a uma irradiância de 1000 W/m^2 pela expressão seguinte:

$$\text{HPS} = \frac{H_{64}}{1000} \quad (3)$$

Sendo o valor de HPS igual a 2,93.

A potência mínima para o painel fotovoltaico pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P_{\text{min}} = \frac{W_D}{\text{HPS} \times \eta_{\text{BAT}} \times \eta_{\text{REG}} \times \eta_{\text{CONV}}} \quad (4)$$

Onde η_{BAT} é o rendimento da bateria, η_{REG} é o rendimento do regulador de carga e η_{CONV} é o rendimento do conversor DC.

A potência do painel fotovoltaico a selecionar deve possuir uma potência igual ou superior a P_{min} .

O rendimento energético das baterias a utilizar depende da tecnologia que se pretende selecionar.

4.4. DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DAS BATERIAS

É pretendido com este ponto o dimensionamento da capacidade das baterias a utilizar no presente caso de estudo. Para efetuar os cálculos é necessário primeiramente ter em atenção a tecnologia que se pretende instalar. O seu rendimento e profundidade de descarga dependem da tecnologia a usar, assim efetuou-se um estudo para duas tecnologias, ácido chumbo e iões de lítio.

A capacidade mínima da bateria instalar é calcula pela expressão:

$$C_{\text{min}} = \frac{W_D \times \text{Autonomia}}{U_{\text{BAT}} \times \text{PD} \times \eta_{\text{BAT}} \times \eta_{\text{REG}} \times \eta_{\text{CONV}}} \quad (5)$$

Onde U_{BAT} é a tensão nominal da bateria, em Volt, e PD é o valor da profundidade de descarga, em %, o valor da autonomia é indicado em dias.

As baterias a selecionar deverão ter um valor igual ou superior à capacidade mínima.

4.5. **DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR DE CARGA**

O regulador de carga a dimensionar será do tipo MPPT. Como foi mencionado anteriormente, este regulador mostra ser o que melhor se adequa a sistemas fotovoltaicos isolados, visto ser capaz de situar o ponto de potência máximo, maximizando a energia produzida. Para o cálculo da corrente mínima do regulador foi efetuado o cálculo baseado na seguinte expressão:

$$I_{\min} = 1,25 \times I_{cc}PV \quad (6)$$

Em que $I_{cc}PV$ é a corrente de curto circuito do painel fotovoltaico em Ampere.

Seguidamente é necessário verificar se a tensão de entrada do regulador é igual ou superior a tensão de saída dos painéis fotovoltaicos e se as características de saída do regulador são compatíveis com a carga a alimentar.

4.6. **DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES**

O dimensionamento correto dos condutores a instalar é importante para evitar perdas e ou interrupções de serviço. A norma a cumprir para este dimensionamento é a IEC 60364-7-712, “Instalações elétricas nos edifícios – requisitos para instalações ou localizações especiais – sistemas solares fotovoltaicos”

Numa instalação fotovoltaica existem três tipos de cabos a dimensionar com requisitos diferentes:

- O cabo de fileira efetuar a ligação entre os painéis fotovoltaicos e o regulador de carga
- O cabo principal DC faz interligação entre o regulador de carga e a bateria
- O cabo AC, que no nosso caso é o cabo DC de alimentação dos led, que faz conexão do regulador de carga aos leds.

Segundo a norma, a corrente máxima admissível (I_z) de uma canalização deve respeitar a seguinte condição:

$$I_z \geq 1,25 I_{cc} \quad (7)$$

Em que I_{cc} representa a corrente de curto-circuito do gerador fotovoltaico para condições STC.

Encontra-se também normalizado que os condutores deverão ser dimensionados para suportar temperaturas superiores a 70°C.

Relativamente à tensão nominal dos condutores, esta deve ser superior ou igual à tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos para uma temperatura de -10°C.

A norma referida sugere que, para os sistemas fotovoltaicos isolados as quedas máximas admissíveis não devem ultrapassar os 3% da tensão nominal para o cabo DC, e 1% para os cabos de fileira de cabo principal DC.

Secção mínima para cabo de fileira:

$$S_{cabo} = \frac{2 \times L_{cabo} \times I_{FI}}{0,01 \times U_{MPP} \times k} \quad (8)$$

Onde a S_{cabo} é a secção (mm²) do cabo de fileira, L_{cabo} é o comprimento do cabo (m), I_{FI} é a corrente do cabo de fileira (A), U_{MPP} é a tensão do ponto de potência máximo do gerador fotovoltaico (V) e k é a condutividade elétrica (m/(Ω.mm²)).

Secção mínima para cabo principal DC

$$S_{cabo} = \frac{2 \times L_{cabo} \times I_n^2}{(0,01 \times P_{FV} - P_M) \times k} \quad (9)$$

Onde a S_{cabo} é a secção (mm²) do cabo de principal DC, L_{cabo} é o comprimento do cabo (m), I_n é a corrente nominal do gerador fotovoltaico (V), P_{FV} é a potencia nominal do gerador, P_M é a potencia de perdas e k é a condutividade elétrica (m/(Ω.mm²)).

Secção mínima para cabo DC dos led:

$$S_{cabo} = \frac{2 \times L_{cabo} \times I_{max}}{0,03 \times U_{max} \times k} \quad (10)$$

Onde a S_{cabo} é a secção (mm²) do cabo DC dos led, L_{cabo} é o comprimento do cabo (m), I_{max} é a corrente máxima suportada pela carga, U_{max} é a tensão máxima suportada pela carga (V) e k é a condutividade elétrica (m/(Ω .mm²)). [Greenpro, 2004]

4.7. CÁLCULO DA POTÊNCIA MÍNIMA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para determinar a potência mínima do painel fotovoltaico a instalar é necessário definir qual a tecnologia das baterias que se pretende utilizar.

Para o presente projeto foram selecionadas baterias de ácido chumbo, dado o seu preço de aquisição e fiabilidade, e as baterias de iões de lítio devido às suas múltiplas vantagens, nomeadamente o elevado número de ciclos e as suas dimensões e peso reduzidas.

As baterias de níquel cádmio foram descartadas deste projeto devido à sua característica de viciação e a bateria de níquel e hidretos metálicos também foi posta de parte, dada a sua comercialização baterias ser de baixo calibre.

O cálculo da potência mínima do painel fotovoltaico exige o conhecimento dos rendimentos energéticos dos equipamentos que compõem o sistema. Na tabela 4.2 encontram-se os valores dos rendimentos das baterias, dos reguladores de carga e do conversor DC, valores fornecidos pelo fabricante.

TABELA 4.2 - RENDIMENTO ENERGETICO DOS EQUIPAMENTOS A IMPLEMENTAR

Equipamento	Rendimento energético
Bateria de acido-chumbo	70%
Bateria de iões lítio	99%
Regulador de carga MPPT	95%
Conversor DC	85%

Cálculo da potência do painel PV para a bateria de ácido chumbo:

$$P_{min} = \frac{180}{2,93 \times 0,7 \times 0,95 \times 0,85} = 108,7 \text{ W}$$

Cálculo da potência do painel PV para a bateria de íões de lítio:

$$P_{min} = \frac{180}{2,93 \times 0,99 \times 0,95 \times 0,85} = 76,8 \text{ W}$$

No cálculo dos painéis fotovoltaicos com bateria de ácido chumbo ou com bateria íões de lítio, a única alteração na fórmula diz respeito ao rendimento energético das baterias, obtendo-se assim uma potência mínima do painel fotovoltaico de 108,7 W para uma bateria de ácido chumbo e 76,8W para uma bateria de lítio.

4.8. **CÁLCULO DA CAPACIDADE MÍNIMA DE ARMAZENAMENTO DAS BATERIAS**

Para calcular a capacidade da bateria é necessário ter em conta os rendimentos mencionados na tabela 4.2. Em relação à profundidade de descarga, no caso da bateria ácido chumbo é de 50% e para a bateria de lítio de 80% (valores fornecidos pelo fabricante) quando ultrapassados pode causar danos irreversíveis. O número de dias de autonomia é de 3 dias, a tensão nominal da bateria é de 12V.

Cálculo da capacidade mínima da bateria de acido-chumbo:

$$C_{min_{pb}} = \frac{180 \times 3}{12 \times 0,5 \times 0,7 \times 0,95 \times 0,85} = 159,3 \text{ Ah}$$

Cálculo da capacidade mínima da bateria de íões de lítio:

$$C_{min_{li}} = \frac{180 \times 3}{12 \times 0,8 \times 0,99 \times 0,95 \times 0,85} = 70,4 \text{ Ah}$$

A capacidade mínima da bateria para a tecnologia acido-chumbo é de 159,3 Ah, para a bateria de íões de lítio é de 70,4 Ah.

4.9. CÁLCULO DO REGULADOR DE CARGA

Para definir qual o regulador de carga a utilizar será necessário determinar qual o painel fotovoltaico a implementar. Foi decidido calcular o regulador de carga para o painel dotado de maior corrente de curto-circuito (caso mais desfavorável) que corresponde a tecnologia CIGS.

$$I_{\min} = 1,25 \times (2 \times 6,3) = 15,75 \text{ A}$$

Isto é, o regulador a selecionar terá que ser superior a 15,75A.

4.10. CÁLCULO DA SECÇÃO DOS CONDUTORES

Secção mínima para cabo de fileira:

$$S_{cabo} \geq \frac{2 \times 4 \times 10,8}{0,01 \times 16,5 \times 56} \geq 9,35 \text{ mm}^2$$

O k tem o valor de 56, que corresponde a condutividade elétrica do cobre, o calibre do cabo a selecionar será de 16mm².

Secção mínima para cabo principal DC

$$S_{cabo} \geq \frac{2 \times 1 \times 10,8^2}{(0,01 \times 180) \times 56} \geq 2,31 \text{ mm}^2$$

A potência de perdas (P_M) é desprezada uma vez que o comprimento do cabo DC é muito reduzido, o calibre do cabo a selecionar será de 4mm².

Secção mínima para cabo DC dos led:

$$S_{cabo} \geq \frac{2 \times 4 \times 0,02}{0,03 \times 120 \times 56} \geq 0,04 \text{ mm}^2$$

Dado que a corrente nominal dos led não deve ser ultrapassada, o valor máximo a considerar para a corrente foi de 20mA. O calibre do cabo a selecionar será de 1,5mm².



4.11. SELEÇÃO DE POSSÍVEIS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS A UTILIZAR


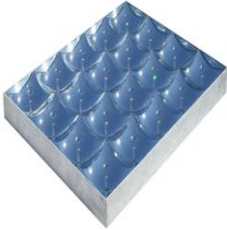

De acordo com o ponto 4.7, o cálculo da potência mínima dos painéis fotovoltaicos a instalar depende das baterias.

No caso da seleção da bateria de ácido chumbo é necessário que a potência do painel seja superior a 108,7 W, na seleção da bateria de íões de lítio a potência do painel deverá ser superior a 76,8W. Esta diferença de valores deve-se à maior profundidade de descarga e ao elevado rendimento das baterias de lítio.

Neste tópico pretende-se demonstrar quais as tecnologias de painéis fotovoltaicos que existem no mercado para podermos aplicar no presente estudo, bem como as características de cada painel fotovoltaico para as condições padrão de teste em laboratório (STC).




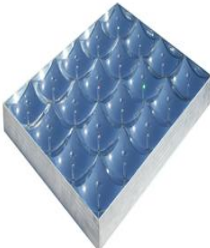
TABELA 4.3 – PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA USO DE BATERIAS DE ÁCIDO CHUMBO


TECNOLOGIA	FIGURA	DATA SHEET																										
Monocristalino		<p>Potência máxima (Wp): 130W Tensão máxima de alimentação (V): 18/36 Potência máxima (A): 7.25/3.62 Tensão de circuito aberto (V): 22/46 Curto circuito (A): 8.12/4.01 Número de células (PCs): 108/144 Tamanho do módulo (mm): 1190 x 808 x 35 Peso por unidade (kg): 11 Célula de eficiência (%): 16</p>																										
Policristalino		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>KC130GH-2P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potência nominal com P_{máx} (W)</td> <td>130 (+10/-5%)</td> </tr> <tr> <td>Tensão MPP (V)</td> <td>17,6</td> </tr> <tr> <td>Corrente em MPP (A)</td> <td>7,39</td> </tr> <tr> <td>Tensão de sistemas máx. (V)</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Voltagem de circuito aberto (V)</td> <td>21,9</td> </tr> <tr> <td>Corrente de curto-circuito (A)</td> <td>8,02</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura VOC (V / °C)</td> <td>-0,0821</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura ISC (mA / °C)</td> <td>3,18</td> </tr> <tr> <td>Dimensões C x L x P (mm)</td> <td>1425 x 652 x 36</td> </tr> <tr> <td>Peso (kg)</td> <td>12,2</td> </tr> <tr> <td>Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Garantia do produto do fabricante (anos)</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		KC130GH-2P	Potência nominal com P _{máx} (W)	130 (+10/-5%)	Tensão MPP (V)	17,6	Corrente em MPP (A)	7,39	Tensão de sistemas máx. (V)	1000	Voltagem de circuito aberto (V)	21,9	Corrente de curto-circuito (A)	8,02	Coefficiente de temperatura VOC (V / °C)	-0,0821	Coefficiente de temperatura ISC (mA / °C)	3,18	Dimensões C x L x P (mm)	1425 x 652 x 36	Peso (kg)	12,2	Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	20	Garantia do produto do fabricante (anos)	5
	KC130GH-2P																											
Potência nominal com P _{máx} (W)	130 (+10/-5%)																											
Tensão MPP (V)	17,6																											
Corrente em MPP (A)	7,39																											
Tensão de sistemas máx. (V)	1000																											
Voltagem de circuito aberto (V)	21,9																											
Corrente de curto-circuito (A)	8,02																											
Coefficiente de temperatura VOC (V / °C)	-0,0821																											
Coefficiente de temperatura ISC (mA / °C)	3,18																											
Dimensões C x L x P (mm)	1425 x 652 x 36																											
Peso (kg)	12,2																											
Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	20																											
Garantia do produto do fabricante (anos)	5																											

<p>Silício-amorfo</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">NT-130AX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potência nominal com P_{máx} (W)</td> <td>130 (+/-5%)</td> </tr> <tr> <td>Tensão MPP (V)</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>Corrente em MPP (A)</td> <td>2,2</td> </tr> <tr> <td>Tensão de sistemas máx. (V)</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Voltagem de circuito aberto (V)</td> <td>76,8</td> </tr> <tr> <td>Corrente de curto-circuito (A)</td> <td>2,72</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura VOC (V/°C)</td> <td>-0,24</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura ISC (mA/°C)</td> <td>1,90</td> </tr> <tr> <td>Dimensões C x L x P (mm)</td> <td>1414 x 1114 x 35,5</td> </tr> <tr> <td>Peso (kg)</td> <td>20,5</td> </tr> <tr> <td>Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Garantia do produto do fabricante (anos)</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	NT-130AX		Potência nominal com P _{máx} (W)	130 (+/-5%)	Tensão MPP (V)	59	Corrente em MPP (A)	2,2	Tensão de sistemas máx. (V)	1000	Voltagem de circuito aberto (V)	76,8	Corrente de curto-circuito (A)	2,72	Coefficiente de temperatura VOC (V/°C)	-0,24	Coefficiente de temperatura ISC (mA/°C)	1,90	Dimensões C x L x P (mm)	1414 x 1114 x 35,5	Peso (kg)	20,5	Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	25	Garantia do produto do fabricante (anos)	5										
NT-130AX																																						
Potência nominal com P _{máx} (W)	130 (+/-5%)																																					
Tensão MPP (V)	59																																					
Corrente em MPP (A)	2,2																																					
Tensão de sistemas máx. (V)	1000																																					
Voltagem de circuito aberto (V)	76,8																																					
Corrente de curto-circuito (A)	2,72																																					
Coefficiente de temperatura VOC (V/°C)	-0,24																																					
Coefficiente de temperatura ISC (mA/°C)	1,90																																					
Dimensões C x L x P (mm)	1414 x 1114 x 35,5																																					
Peso (kg)	20,5																																					
Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	25																																					
Garantia do produto do fabricante (anos)	5																																					
<p>Concentração de espelhos</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">MCPV-36</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">ELECTRICAL DATA</td> </tr> <tr> <td>Maximum Power*</td> <td><i>P_{max}</i></td> <td>115W</td> </tr> <tr> <td>Open Circuit Voltage</td> <td><i>V_{oc}</i></td> <td>22.08</td> </tr> <tr> <td>Max Power Point Voltage</td> <td><i>V_{mpp}</i></td> <td>17.41</td> </tr> <tr> <td>Short Circuit Current</td> <td><i>I_{sc}</i></td> <td>7.18A</td> </tr> <tr> <td>Max Power Point Current</td> <td><i>I_{mp}</i></td> <td>6.62A</td> </tr> <tr> <td>Cells per module</td> <td></td> <td>36</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DIMENSIONS</td> </tr> <tr> <td>Cell (L) x (W)</td> <td><i>cm</i></td> <td>2.0 x 2.4</td> </tr> <tr> <td>Module (L) x (W) x (D)</td> <td><i>cm</i></td> <td>102x102x21</td> </tr> <tr> <td>Module Weight</td> <td><i>kg</i></td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	MCPV-36			ELECTRICAL DATA			Maximum Power*	<i>P_{max}</i>	115W	Open Circuit Voltage	<i>V_{oc}</i>	22.08	Max Power Point Voltage	<i>V_{mpp}</i>	17.41	Short Circuit Current	<i>I_{sc}</i>	7.18A	Max Power Point Current	<i>I_{mp}</i>	6.62A	Cells per module		36	DIMENSIONS			Cell (L) x (W)	<i>cm</i>	2.0 x 2.4	Module (L) x (W) x (D)	<i>cm</i>	102x102x21	Module Weight	<i>kg</i>	21
MCPV-36																																						
ELECTRICAL DATA																																						
Maximum Power*	<i>P_{max}</i>	115W																																				
Open Circuit Voltage	<i>V_{oc}</i>	22.08																																				
Max Power Point Voltage	<i>V_{mpp}</i>	17.41																																				
Short Circuit Current	<i>I_{sc}</i>	7.18A																																				
Max Power Point Current	<i>I_{mp}</i>	6.62A																																				
Cells per module		36																																				
DIMENSIONS																																						
Cell (L) x (W)	<i>cm</i>	2.0 x 2.4																																				
Module (L) x (W) x (D)	<i>cm</i>	102x102x21																																				
Module Weight	<i>kg</i>	21																																				
<p>Nanotecnologia CIGS</p>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Capacity rating</td> <td>P_{max}</td> <td>90 W</td> </tr> <tr> <td>Tolerance of P_{max}</td> <td>%</td> <td>± 5%</td> </tr> <tr> <td>Module aperture area efficiency %</td> <td></td> <td>11.4%</td> </tr> <tr> <td>Rated voltage</td> <td>V_{mpp}</td> <td>16.4 V</td> </tr> <tr> <td>Rated current</td> <td>I_{mpp}</td> <td>5.5 A</td> </tr> <tr> <td>Open circuit voltage</td> <td>V_{oc}</td> <td>23.6 V</td> </tr> <tr> <td>Short circuit current</td> <td>I_{sc}</td> <td>6.3 A</td> </tr> <tr> <td>Dimensions</td> <td colspan="2">2013x494x3.5 mm (79x19.4x0.13 in)</td> </tr> <tr> <td>Weight</td> <td colspan="2">3.5 kg (nominal weight with adhesive)</td> </tr> </tbody> </table>	Capacity rating	P _{max}	90 W	Tolerance of P _{max}	%	± 5%	Module aperture area efficiency %		11.4%	Rated voltage	V _{mpp}	16.4 V	Rated current	I _{mpp}	5.5 A	Open circuit voltage	V _{oc}	23.6 V	Short circuit current	I _{sc}	6.3 A	Dimensions	2013x494x3.5 mm (79x19.4x0.13 in)		Weight	3.5 kg (nominal weight with adhesive)										
Capacity rating	P _{max}	90 W																																				
Tolerance of P _{max}	%	± 5%																																				
Module aperture area efficiency %		11.4%																																				
Rated voltage	V _{mpp}	16.4 V																																				
Rated current	I _{mpp}	5.5 A																																				
Open circuit voltage	V _{oc}	23.6 V																																				
Short circuit current	I _{sc}	6.3 A																																				
Dimensions	2013x494x3.5 mm (79x19.4x0.13 in)																																					
Weight	3.5 kg (nominal weight with adhesive)																																					

Pode verificar-se que a potência de cada painel é superior à potência mínima calculada, à exceção dos painéis de nanotecnologia CIGS, o que implica o uso de dois painéis em série, o que faz um total de 180 W instalados.

TABELA 4.4 – PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS PARA USO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO

TECNOLOGIA	FIGURA	DATA SHEET																																								
<p>Monocristalino</p>		<table border="1"> <tr> <td>Maximum power (Wp):</td> <td>90W</td> </tr> <tr> <td>Maximum power voltage (V):</td> <td>17.2</td> </tr> <tr> <td>Maximum power current (A):</td> <td>5.23</td> </tr> <tr> <td>Open circuit voltage (V):</td> <td>21.6</td> </tr> <tr> <td>Short circuit current (A):</td> <td>5.81</td> </tr> <tr> <td>Number of cells (pcs):</td> <td>36 (4 x 9)</td> </tr> <tr> <td>Size of module (mm):</td> <td>1210 x 540 x 30</td> </tr> <tr> <td>Maximum system voltage (V):</td> <td>1000</td> </tr> </table>	Maximum power (Wp):	90W	Maximum power voltage (V):	17.2	Maximum power current (A):	5.23	Open circuit voltage (V):	21.6	Short circuit current (A):	5.81	Number of cells (pcs):	36 (4 x 9)	Size of module (mm):	1210 x 540 x 30	Maximum system voltage (V):	1000																								
Maximum power (Wp):	90W																																									
Maximum power voltage (V):	17.2																																									
Maximum power current (A):	5.23																																									
Open circuit voltage (V):	21.6																																									
Short circuit current (A):	5.81																																									
Number of cells (pcs):	36 (4 x 9)																																									
Size of module (mm):	1210 x 540 x 30																																									
Maximum system voltage (V):	1000																																									
<p>Policristalino</p>		<table border="1"> <tr> <td>Peak power</td> <td>Pmax</td> <td>[Wp]</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Tolerance</td> <td></td> <td>[%]</td> <td>+10/-5</td> </tr> <tr> <td>Max. power current</td> <td>Imp</td> <td>[A]</td> <td>5.7</td> </tr> <tr> <td>Max. power voltage</td> <td>Vmp</td> <td>[V]</td> <td>17.7</td> </tr> <tr> <td>Short circuit current</td> <td>Isc</td> <td>[A]</td> <td>6.1</td> </tr> <tr> <td>Open circuit voltage</td> <td>Voc</td> <td>[V]</td> <td>21.4</td> </tr> <tr> <td>Temperature co-efficient for Pmax</td> <td></td> <td>[%/°C]</td> <td>-0.38</td> </tr> <tr> <td>Temperature co-efficient for Voc</td> <td></td> <td>[mV/°C]</td> <td>-58.7</td> </tr> <tr> <td>Temperature co-efficient for Isc</td> <td></td> <td>[mA/°C]</td> <td>5.3</td> </tr> <tr> <td>Max. system voltage</td> <td></td> <td>[V]</td> <td>600</td> </tr> </table>	Peak power	Pmax	[Wp]	100	Tolerance		[%]	+10/-5	Max. power current	Imp	[A]	5.7	Max. power voltage	Vmp	[V]	17.7	Short circuit current	Isc	[A]	6.1	Open circuit voltage	Voc	[V]	21.4	Temperature co-efficient for Pmax		[%/°C]	-0.38	Temperature co-efficient for Voc		[mV/°C]	-58.7	Temperature co-efficient for Isc		[mA/°C]	5.3	Max. system voltage		[V]	600
Peak power	Pmax	[Wp]	100																																							
Tolerance		[%]	+10/-5																																							
Max. power current	Imp	[A]	5.7																																							
Max. power voltage	Vmp	[V]	17.7																																							
Short circuit current	Isc	[A]	6.1																																							
Open circuit voltage	Voc	[V]	21.4																																							
Temperature co-efficient for Pmax		[%/°C]	-0.38																																							
Temperature co-efficient for Voc		[mV/°C]	-58.7																																							
Temperature co-efficient for Isc		[mA/°C]	5.3																																							
Max. system voltage		[V]	600																																							
<p>Silício-amorfo</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">NH-100AT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potência nominal com Pmáx (W)</td> <td>100 (+/-5%)</td> </tr> <tr> <td>Tensão MPP (V)</td> <td>37,5</td> </tr> <tr> <td>Corrente em MPP (A)</td> <td>2,66</td> </tr> <tr> <td>Tensão de sistemas máx. (V)</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Voltagem de circuito aberto (V)</td> <td>50,5</td> </tr> <tr> <td>Corrente de curto-circuito (A)</td> <td>3,3</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura VOC (V /°C)</td> <td>-0,17</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de temperatura ISC (mA /°C)</td> <td>2,97</td> </tr> <tr> <td>Dimensões C x L x P (mm)</td> <td>1414 x 1114 x 35,5</td> </tr> <tr> <td>Peso (kg)</td> <td>20,5</td> </tr> <tr> <td>Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Garantia do produto do fabricante (anos)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Certificado</td> <td>ICE 61646 / 61730, CE</td> </tr> </tbody> </table>	NH-100AT		Potência nominal com Pmáx (W)	100 (+/-5%)	Tensão MPP (V)	37,5	Corrente em MPP (A)	2,66	Tensão de sistemas máx. (V)	1000	Voltagem de circuito aberto (V)	50,5	Corrente de curto-circuito (A)	3,3	Coefficiente de temperatura VOC (V /°C)	-0,17	Coefficiente de temperatura ISC (mA /°C)	2,97	Dimensões C x L x P (mm)	1414 x 1114 x 35,5	Peso (kg)	20,5	Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	25	Garantia do produto do fabricante (anos)	5	Certificado	ICE 61646 / 61730, CE												
NH-100AT																																										
Potência nominal com Pmáx (W)	100 (+/-5%)																																									
Tensão MPP (V)	37,5																																									
Corrente em MPP (A)	2,66																																									
Tensão de sistemas máx. (V)	1000																																									
Voltagem de circuito aberto (V)	50,5																																									
Corrente de curto-circuito (A)	3,3																																									
Coefficiente de temperatura VOC (V /°C)	-0,17																																									
Coefficiente de temperatura ISC (mA /°C)	2,97																																									
Dimensões C x L x P (mm)	1414 x 1114 x 35,5																																									
Peso (kg)	20,5																																									
Garantia de funcionamento do fabricante* (anos)	25																																									
Garantia do produto do fabricante (anos)	5																																									
Certificado	ICE 61646 / 61730, CE																																									
<p>Concentração de espelhos</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">MCPV-36</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">ELECTRICAL DATA</td> </tr> <tr> <td>Maximum Power*</td> <td>Pmax</td> <td>115W</td> </tr> <tr> <td>Open Circuit Voltage</td> <td>Voc</td> <td>22.08</td> </tr> <tr> <td>Max Power Point Voltage</td> <td>Vmpp</td> <td>17.41</td> </tr> <tr> <td>Short Circuit Current</td> <td>Isc</td> <td>7.18A</td> </tr> <tr> <td>Max Power Point Current</td> <td>Imp</td> <td>6.62A</td> </tr> <tr> <td>Cells per module</td> <td></td> <td>36</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DIMENSIONS</td> </tr> <tr> <td>Cell (L) x (W)</td> <td>cm</td> <td>2.0 x 2.4</td> </tr> <tr> <td>Module (L) x (W) x (D)</td> <td>cm</td> <td>102x102x21</td> </tr> <tr> <td>Module Weight</td> <td>kg</td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	MCPV-36			ELECTRICAL DATA			Maximum Power*	Pmax	115W	Open Circuit Voltage	Voc	22.08	Max Power Point Voltage	Vmpp	17.41	Short Circuit Current	Isc	7.18A	Max Power Point Current	Imp	6.62A	Cells per module		36	DIMENSIONS			Cell (L) x (W)	cm	2.0 x 2.4	Module (L) x (W) x (D)	cm	102x102x21	Module Weight	kg	21				
MCPV-36																																										
ELECTRICAL DATA																																										
Maximum Power*	Pmax	115W																																								
Open Circuit Voltage	Voc	22.08																																								
Max Power Point Voltage	Vmpp	17.41																																								
Short Circuit Current	Isc	7.18A																																								
Max Power Point Current	Imp	6.62A																																								
Cells per module		36																																								
DIMENSIONS																																										
Cell (L) x (W)	cm	2.0 x 2.4																																								
Module (L) x (W) x (D)	cm	102x102x21																																								
Module Weight	kg	21																																								

Nanotecnologia CIGS		Capacity rating	Pmax	100 W
		Tolerance of Pmax	%	± 7%
		Module aperture area efficiency	%	12.7%
		Rated voltage	Vmpp	17.8 V
		Rated current	Impp	5.6 A
		Open circuit voltage	Voc	23.3 V
		Short circuit current	Isc	6.4 A
		Dimensions	2017 x 495 x 3.5 mm (83 x 19.5 x 0.13 in)	
		Weight	3.3 kg with adhesive (3.3 kg/m ²)	

Para a seleção do painel a implementar no sistema em estudo, será feita uma análise pormenorizada do custo de aquisição dos equipamentos, do preço por Watt instalado e do preço da energia que cada tecnologia proporciona.

Os painéis de concentração de espelhos não são objeto de estudo no presente trabalho, dado a sua perda de rendimento no inverno que coincide precisamente com período de funcionamento do caso em estudo. O gráfico presente na figura 4.2 mostra a comparação entre a produção de energia durante os meses do ano para os painéis de concentração fotovoltaica (CPV), painéis fixos (PV fixo) e painéis com seguidor solar (PV tracker).

Denota-se uma produção de energia inferior nos CPV em relação ao PV fixo nos meses de Novembro e Dezembro, a queda de produção de energia deve-se à infiltração de água nas lentes ou espelhos nos períodos de chuva, o que invalida o uso desta tecnologia no caso de estudo. [Calaia,2011]

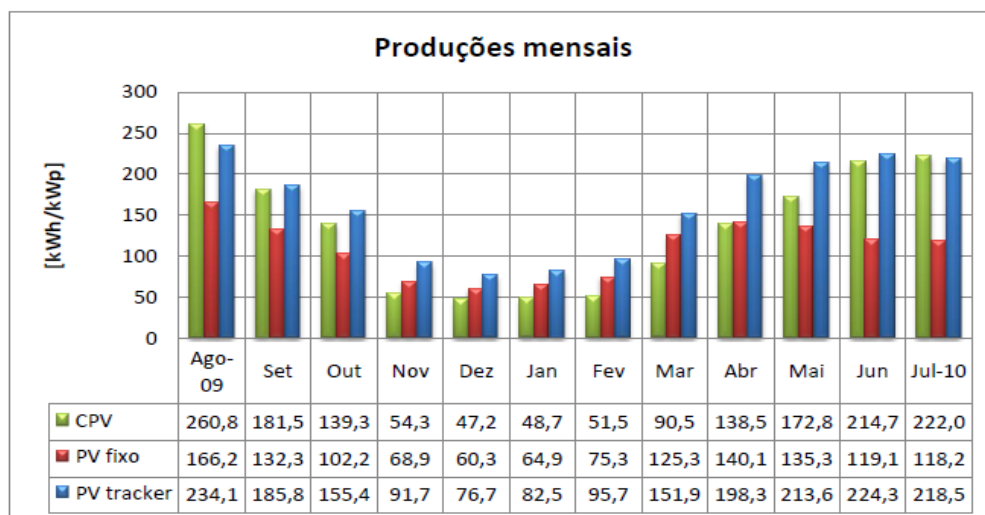


Figura 4.2 – ESTUDO COMPARATIVO DAS TRÊS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS [calaia,2011]



4.12. SELEÇÃO DE POSSÍVEIS BATERIAS A IMPLEMENTAR

Conforme foi referido, as baterias de níquel cádmio foram retiradas deste estudo devido à sua característica de viciação, bem como a bateria de níquel hidretos metálicos, pela sua comercialização ser de baterias de baixo calibre.

Restando para o nosso caso de estudo a tecnologia ácido chumbo e íões de lítio.

A eleição das baterias a instalar será feita de acordo com o estudo da comparação do custo de aquisição dos equipamentos, do preço por Watt instalado e do preço da energia que cada tecnologia proporciona.


TABELA 4.5 - CARACTERISTICAS DAS BATERIAS DE ÁCIDO CHUMBO E ÍÕES DE LÍCIO

TECNOLOGIA	FIGURA	DATA SHEET								
		Referência	Tensão	C 100h	C 20h	C 10h	Dimensões (mm)			Peso
		Série E	(V)	(Ah)	(Ah)	(Ah)	C	L	A	(kg)
Acido-Chumbo		E 12-70	12	72	65	60	242	175	190	13.5
		E 12-110	12	109	95	80	353	175	190	22
		E 12-150	12	147	128	110	358	175	280	34
		E 12-195	12	195	180	150	512	222	223	48
		E 12-255 *	12	255	230	195	518	273	242	61
Íões de lítio		Model name	LP12V90AH+	Older product marking TS-LP12V90AH						
		Nominal voltage	12 V	Operating voltage under load is 12.0 V						
		Capacity	90 AH	+/- 5%						
		Operating voltage	max 16.0V - min 11.0V	At 80% DOD						
		Deep discharge voltage	10 V	The cells is damaged if voltage drops below this level						
		Maximal charge voltage	16 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level						
		Optimal discharge current	< 45 A	0.5 C						
		Maximal discharge current	< 90 A	1 C, continuous for max 30 minutes from full charge						
		Max peak discharge current	< 1000 A	10 C, maximal 10 seconds in 1 minute						
		Optimal charge current	< 45 A	0.5 C						
		Maximal charge current	< 90 A	< 1 C with battery temperature monitoring						
		Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge						
		Dimensions	283 x 248 x 155	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)						
Weight	15 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)								

4.13. SELEÇÃO DO REGULADOR DE CARGA

O regulador de carga a selecionar terá que ter uma corrente superior 15,75 A, calculada no capítulo 4.9. Selecionou-se o regulador de carga de 20A com as características técnicas seguidamente apresentadas.

TABELA 4.6 - CARACTERISTICAS DO REGULADOR DE CARGA

TECNOLOGIA	FIGURA	DATA SHEET			
Regulador de carga MPPT		Specification	MPPT30	MPPT30	MPPT60
		Rated Voltage	12V / 24V / 48V		
		Max Load current	20A	30A	40A
		Input voltage range	12V~40V/24V~80V/48V~110V		
		Lengths≤1m Charge loop drop	<250mv	<250mv	<250mv
		Lengths≤1m Discharge loop drop	<50mv	<50mv	<50mv
		Full charge cut	13.7V / 27.4V / 54.8V		
		Low voltage cut	10.5~11V / 21V~22V / 42V~43V		
		Temperature compensation	-3mv/°C/cell		
		No load loss	≤20mA	≤20mA	≤30mA
		Efficiency	95%—97%	95%—97%	95%—97%
		Max wire area	4mm ²	6mm ²	8mm ²
		Ambient temperature	-25°C—55°C		

4.14. ESTUDO COMPARATIVO DAS VARIAS TECNOLOGIAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A tabela 4.7 demonstra os diversos painéis, as baterias e o regulador de carga selecionados. Também podemos observar na tabela o preço de aquisição de cada equipamento e o preço total do sistema completo. Na última coluna apresenta-se o preço por Watt, ou seja, a razão entre o preço total e a potência instalada de casa tecnologia.

Na figura 4.1 está representado o preço que cada sistema completo poderá custar utilizando baterias de acido-chumbo ou de iões de lítio, dando melhor percepção visual do investimento inicial.

TABELA 4.7 - ESTUDO COMPARATIVO DAS DIVERSAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTÁICAS

Tec. de Produção	Preço dos Painéis	ec. de armazenament	Preço Bateria	Preço Regulador MPPT	Preço total	Pot. Instalada (W)	Preço por W/inst
Monocristalino	410 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	864 €	130	6,65 €
	290 €	loes de litio	460,54 €	160 €	911 €	90	10,12 €
Policristalino	457 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	911 €	130	7,01 €
	263 €	loes de litio	460,54 €	160 €	884 €	100	8,84 €
Silício-amorfo	357 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	811 €	130	6,24 €
	274 €	loes de litio	460,54 €	160 €	895 €	100	8,95 €
Nanotecnologia CIGS	360 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	814 €	180	4,52 €
	200 €	loes de litio	460,54 €	160 €	821 €	100	8,21 €

NOTA: O preço de aquisição dos cabos de alimentação e o custo de instalação dos equipamentos são desprezados para efeito de cálculos.

Denota-se que o sistema com a tecnologia de silício-amorfo é o que possui menor preço de aquisição utilizando baterias de acido-chumbo. O que possui menor preço para a bateria de iões de lítio é o sistema com a tecnologia CIGS.

Na figura 4.3 está apresentado o preço por Watt instalado referente a cada tecnologia. Ao analisar os resultados obtidos na figura 4.3 verifica-se que o sistema que utiliza painéis com a nanotecnologia CIGS é o que oferece preço mais baixo comparativamente com os outros sistemas, não só para os sistemas com uso de baterias de ácido chumbo, mas também para sistemas com o uso de baterias de iões de lítio

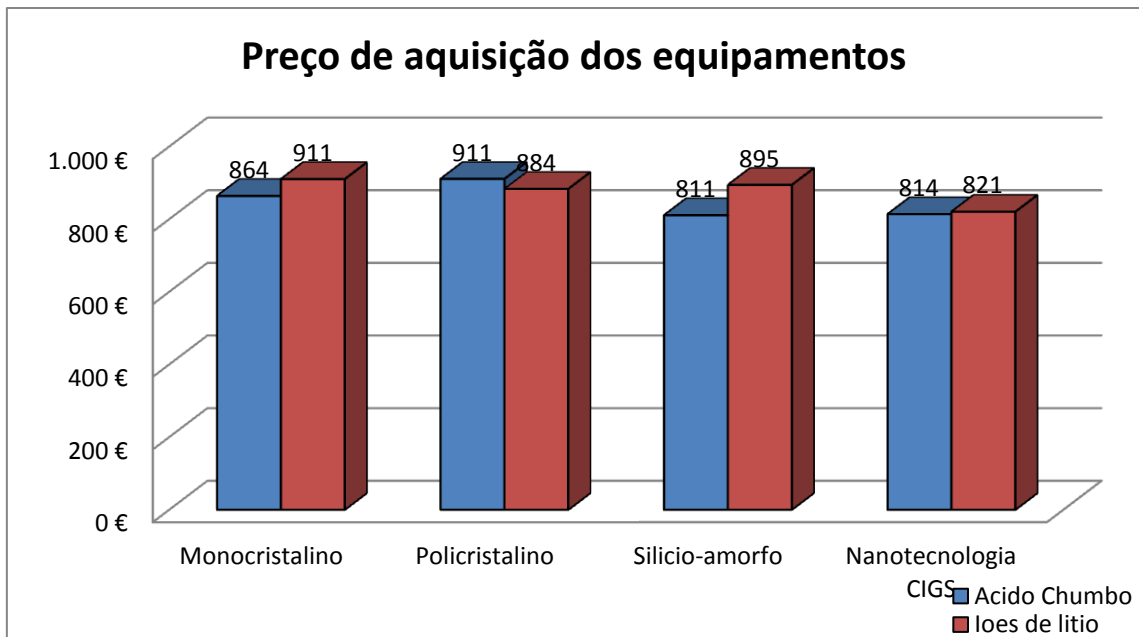


Figura 4.3 – PREÇO DE AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS QUE CONSTITUEM O SISTEMA

Os painéis de nanotecnologia CIGS serão os selecionados para implementação do caso em estudo, não só pelo preço baixo, mas também pelas múltiplas vantagens em relação a outras tecnologias, como o seu peso reduzido, o facto de ser inquebrável e a sua flexibilidade, que nos permite moldar o painel de acordo com o local a instalar. O passo seguinte verifica o sistema de armazenamento (bateria de acido chumbo ou iões de lítio) mais compensatório para a implementação dos painéis CIGS.

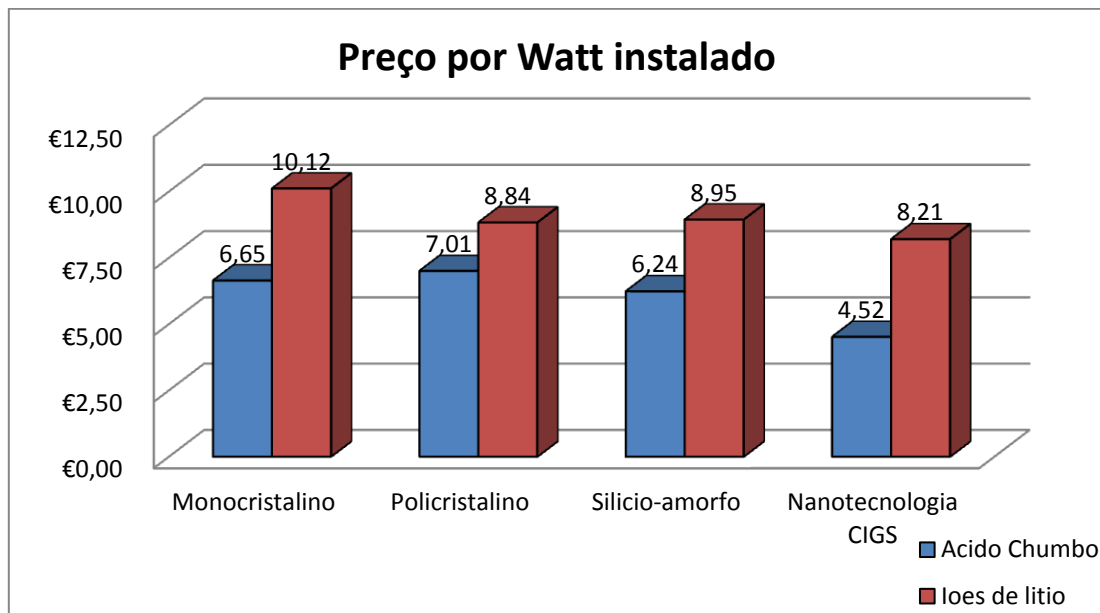


Figura 4.4 – PREÇO POR WATT INSTALADO CORRESPONDENTE AS DIVERSAS TECNOLOGIAS

Uma vez selecionado o painel a utilizar, torna-se necessário avaliar qual o custo da energia ao longo da vida útil dos painéis fotovoltaicos CIGS, a operar com baterias de ácido chumbo ou com íões de lítio.

A tabela 4.8 faculta informação necessária para determinar qual a bateria mais compensatória para o armazenamento de energia elétrica.

TABELA 4.8 - PREÇO DA ENERGIA GERADA PELOS PAINÉIS CIGS

Painel+Bateria	C_inv (€)	C_manut (€)	N_dias_func	Ea_122 (kWh)	Ep_0_3650 (kWh)	Ep_3650_9125 (kWh)	E_total (kwh)	C_energia (€/kWh)
CIGS+CH	814	6.468	9125	42,1	1133,59	1511,46	2645,05	2,75 €
CIGS+LI	821	1.842,16	9125	37,86	1019,43	1359,24	2378,66	1,12 €

Na tabela 4.8 está exposto o estudo do preço da energia para o período de vida útil dos painéis CIGS. Como se pode verificar, o estudo é feito para os painéis CIGS com a bateria de ácido chumbo e com a bateria de lítio.

O custo de investimento (C_inv) é o custo relativo ao preço de aquisição dos equipamentos presente na figura 20, sendo este o somatório do preço dos painéis, da bateria e do regulador de carga.

O custo de manutenção é referente à substituição das baterias. O tempo de vida útil dos painéis é de 25 anos que equivale a 9125 dias. Cada bateria de chumbo realiza 400 ciclos logo necessita de 23 baterias para satisfizer a vida útil dos painéis. Como já adquirimos uma no investimento inicial, necessitamos de 22 baterias de substituição para o tempo de vida útil dos painéis. Para as baterias de lítio a metodologia é a mesma, mas o número de ciclos é de 2000, logo necessitaremos de 5 baterias no total o que dá 4 para substituição.

O produto entre o número de baterias a substituir e o preço de cada uma, resulta no custo de manutenção.

A coluna Ea_122 representa a energia produzida nos meses de Setembro a Dezembro considerando que são 122 dias, isto é, a energia produzida num ano. Este valor foi retirado do software PVGIS para uma inclinação de 53,5°, obtida no mesmo software sendo a média da inclinação ideal para os 4 meses.

Os dados fornecidos pelo fabricante de painéis CIGS indicam que a potência de saída do nos primeiros 10 anos é de 90% e nos próximos 15 é de 80%. Logo está

apresentada na coluna Ep_0_3650, 90% da energia produzida em 10 anos (3650 dias).

O mesmo se repete para a coluna Ep_3650_9125, que apresenta 80% da energia produzida em 15 anos (9125-3650 dias).

O custo da energia em kWh foi calculado segundo a fórmula:

$$C_{\text{energia}} = \frac{C_{\text{inv}} + C_{\text{manut}}}{E_{\text{total}}} \quad (11)$$

Como se pode constatar, o sistema que possibilita um preço de energia menor é o sistema composto por um painel CIGS e uma bateria de íões de lítio.

5) MICROGERAÇÃO HÍBRIDA DESTINADA A ALIMENTAR ELEMENTOS DE ILUMINAÇÃO DECORATIVA

No presente capítulo será abordado o estudo da implementação do sistema híbrido, através da combinação de um painel fotovoltaico e de um aerogerador, com a finalidade de alimentação de um sistema de iluminação decorativa.

Através da combinação destas duas tecnologias de produção de energia teremos como vantagem o fornecimento de energia pelo aerogerador, em dias encobertos, ou durante a noite. Durante o dia em situações da inexistência de vento o carregamento da bateria será efetuado através dos painéis fotovoltaicos.

A metodologia de dimensionamento consistiu em instalar um aerogerador de eixo vertical ou horizontal, selecionando o que mais se adequa ao estudo em questão.

5.1. DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA HÍBRIDO

O diagrama de blocos presente na figura 5.1 representa o sistema híbrido em análise. O sistema de produção de energia será composto por o painel CIGS selecionado no capítulo 4 e um aerogerador de eixo vertical ou horizontal, ambos de potência nominal igual a 100W. Posteriormente estes serão comparados para verificar qual será o que melhor se adequa ao presente estudo. O armazenamento de energia será efetuado por baterias de ácido chumbo ou de íões lítio. O regulador será MPPT indicado para sistemas híbridos.

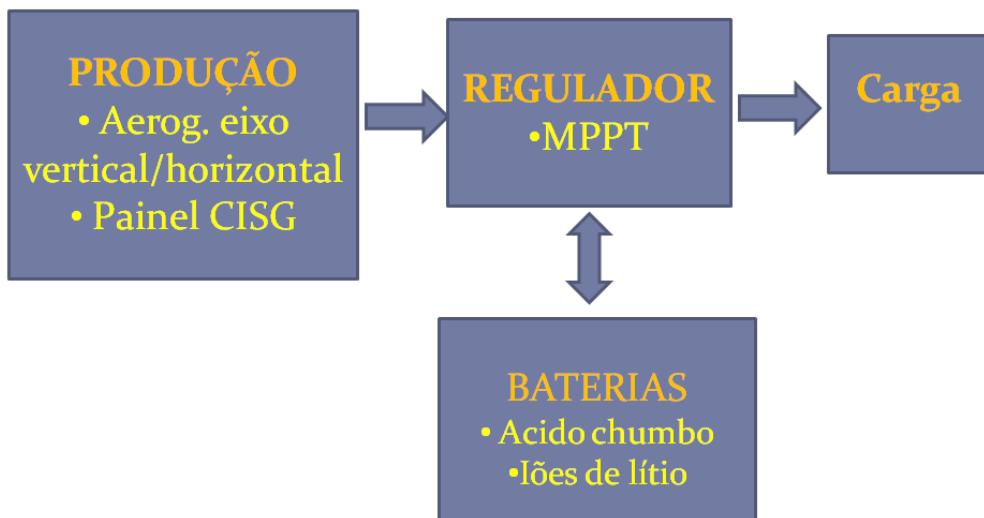




Figura 5.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA HÍBRIDO

5.2. SELEÇÃO DE POSSÍVEIS AEROGERADORES A IMPLEMENTAR

Para a seleção dos aerogeradores teve-se em conta uma potência nominal de 100W, tanto no caso dos de eixo vertical como no caso dos de eixo horizontal.

TABELA 5.1 - CARACTERÍSTICAS DO AEROGERADOR DE EIXO VERTICAL E HORIZONTAL

TECNOLOGIA	FIGURA	DATA SHEET																						
Aerogerador de eixo horizontal		<table border="1"> <tr> <td>Nome do Modelo</td> <td>NE-100S</td> </tr> <tr> <td>Potência nominal</td> <td>100W</td> </tr> <tr> <td>Potência máxima</td> <td>130W</td> </tr> <tr> <td>Tensão nominal</td> <td>12/24</td> </tr> <tr> <td>Tensão de carregamento</td> <td>14/28V</td> </tr> <tr> <td>Iniciar a velocidade do vento</td> <td>2,0 m / s</td> </tr> <tr> <td>Velocidade do vento nominal</td> <td>10m / s</td> </tr> <tr> <td>Segurança da velocidade do vento</td> <td>65m / s</td> </tr> <tr> <td>Net anfitrião</td> <td>6 kg</td> </tr> <tr> <td>Diâmetro da roda de vento</td> <td>1,2 m</td> </tr> <tr> <td>Número de folhas</td> <td>3</td> </tr> </table>	Nome do Modelo	NE-100S	Potência nominal	100W	Potência máxima	130W	Tensão nominal	12/24	Tensão de carregamento	14/28V	Iniciar a velocidade do vento	2,0 m / s	Velocidade do vento nominal	10m / s	Segurança da velocidade do vento	65m / s	Net anfitrião	6 kg	Diâmetro da roda de vento	1,2 m	Número de folhas	3
Nome do Modelo	NE-100S																							
Potência nominal	100W																							
Potência máxima	130W																							
Tensão nominal	12/24																							
Tensão de carregamento	14/28V																							
Iniciar a velocidade do vento	2,0 m / s																							
Velocidade do vento nominal	10m / s																							
Segurança da velocidade do vento	65m / s																							
Net anfitrião	6 kg																							
Diâmetro da roda de vento	1,2 m																							
Número de folhas	3																							

Aerogerador de eixo vertical		Model	DA-F-100
		Product Name	Red Lantern
		Power	100W
		Rotor diameter	800mm
		Height of blades	600mm
		Material of blades	Fiber Reinforced Plastics
		Number of blades	5
		Rated rotor speed	120r/min
		Rated wind speed	8m/s
		Start-up wind speed	1.3m/s
		Work wind speed	1.3-25m/s
		Survival wind speed	50m/s
		Output voltage	12V
		Height of tower(m)	3

5.3. ESTUDO COMPARATIVO DOS AEROGERADORES SELECIONADOS

TABELA 1 - ESTUDO COMPARATIVO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS EÓLICAS

Tec. de Produção	Preço do Painel+Aerog.	Tec. de armazen.	Preço Bateria	Preço Regulador MPPT	Preço total	Pot. Instalada (W)	Preço por W/inst
Híbrido (CIGS+ EOLICA HORIZO)	290 € + 360 € = 630 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	1.104 €	280	3,94 €
	290 € + 200 € = 490 €	loes de litio	460,54 €	160 €	1.111 €	200	5,55 €
Híbrido (GIGS+ EOLICA VERTICAL)	585 € + 360 € = 945 €	Acido Chumbo	294 €	160 €	1.399 €	280	5,00 €
	585 € + 200 € = 785 €	loes de litio	460,54 €	160 €	1.406 €	200	7,03 €

Da análise comparativa entre os dois sistemas híbridos observa-se que o sistema híbrido com aerogerador horizontal é o que possui um preço mais reduzido, tanto no preço total como no preço por Watt instalado. Esta discrepância de preços deve-se ao preço de aquisição dos aerogeradores de eixo vertical ser muito elevado, dado a sua reduzida comercialização.

Em suma, o sistema em estudo será efetuado com um aerogerador eólico de eixo horizontal e um painel CIGS.

5.4. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DO AEROGERADOR DE EIXO HORIZONTAL

Para estimar a energia produzida pelo aerogerador de Setembro a Dezembro, na cidade do Porto, consultou-se o software Retscreen, que facultou os valores da velocidade média do vento para cada mês. Os valores obtidos podem ser vistos na figura 5.2 na coluna velocidade do vento.

Para o cálculo da estimativa da energia produzida pelo aerogerador selecionado utilizamos a velocidade média do vento para os meses de Setembro a Dezembro, sendo este o nosso período de funcionamento.

	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s
Jan	9,6	79,1%	1,82	98,7	3,5
Fev	10,3	77,6%	2,57	98,6	3,3
Mar	12,2	74,8%	3,93	98,4	3,4
Abr	13,1	75,7%	5,21	98,1	3,5
Mai	15,2	77,0%	6,22	98,1	3,3
Jun	18,0	77,0%	6,86	98,3	3,0
Jul	19,2	78,4%	6,93	98,3	2,9
Ago	19,4	77,9%	6,23	98,2	2,8
Set	18,2	79,0%	4,74	98,3	2,6
Out	15,7	80,8%	3,16	98,2	3,1
Nov	12,6	81,0%	2,12	98,3	3,3
Dez	10,7	79,6%	1,64	98,5	3,5
Anual	14,5	78,2%	4,30	98,3	3,2
Fonte	Solo	Solo	Solo	NASA	Solo
			Medido a	m	10

Figura 5.2 – VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO MENSAL

5.5. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Para o cálculo da energia estimada a produzir pelo aerogerador eólico utilizou-se a distribuição de Weibull, visto ser o método mais utilizado para realizar previsões estatísticas do comportamento do vento, sendo muito utilizado em programas informáticos de estimativa de produção anual de energia, relacionados com a energia eólica.

Utilizando a média da velocidade do vento para os 4 meses de funcionamento e um fator de forma igual a 0,8, valor este de referência para o vento em território português, com a seguinte fórmula conseguiu-se calcular a energia eólica disponível para o local de estudo [Moreira, 2011].

$$g(V) = \frac{k}{A} \times \left(\frac{V}{A}\right)^{(k-1)} \times e^{-\left(\frac{V}{A}\right)^k} \quad (12)$$

Onde k = fator de forma (adimensional)

A = fator de escala (m/s)

V = velocidade (m/s)

A figura 5.3 representa a distribuição de Weibull para a cidade do Porto decorrida entre os meses de Setembro e Dezembro.

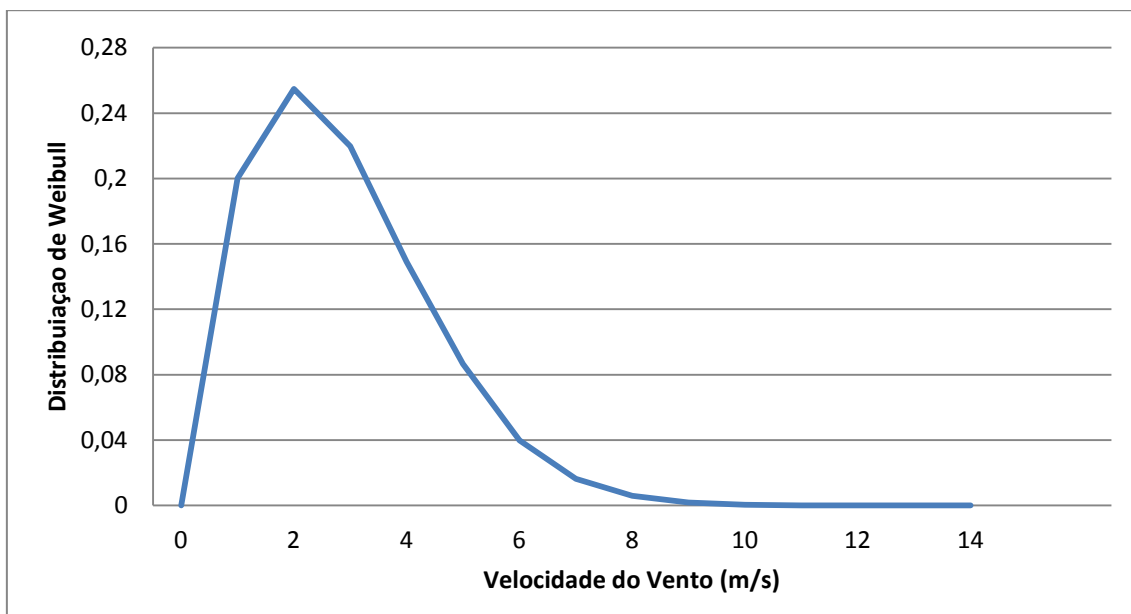


Figura 5.3 – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL PARA O PORTO

A figura 5.4 apresenta a curva de potência do aerogerador de eixo horizontal selecionado.

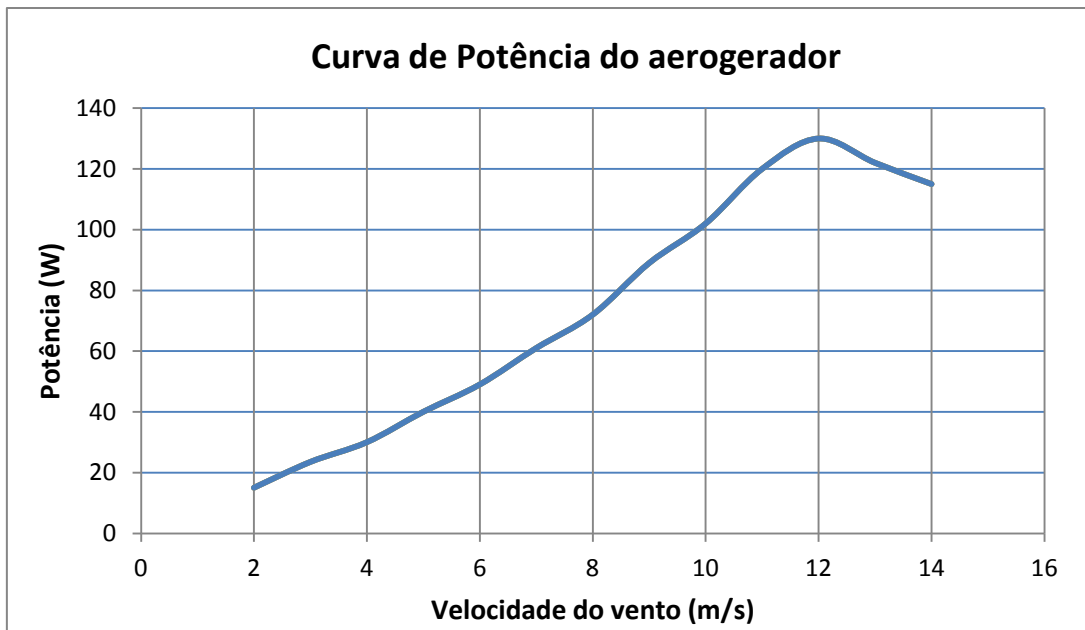


Figura 5.4 – CURVA DE POTÊNCIA DO AEROGERADOR

A relação entre a distribuição de Weibull e a curva de potência do aerogerador resulta da energia produzida pelo aerogerador durante os 4 meses de funcionamento. Na tabela 5.3 está exposto o processo de determinação da energia produzida pelo aerogerador no período definido de 4 meses. Para obter o número de dias do ano com probabilidade de ocorrência de uma determinada velocidade do vento multiplicou-se o valor da probabilidade de Weibull pelo número de dias de funcionamento do aerogerador num ano. Para determinar a energia produzida durante os dias de funcionamento efetuou-se a razão entre o número de dias com a probabilidade de ocorrência de vento e a potência em causa para essa velocidade de vento; seguidamente multiplicou-se por 24 h para obter a energia em Wh.

TABELA 5.3 - DETERMINAÇÃO DE ENERGIA PRODUZIDA NOS 4 MESES DE FUNCIONAMENTO

Velocidade (m/s)	Distribuição de Weibull	Nº de dias por ano com a prob de ocorrência da velocidade do vento	Potência em função da ocorrência do vento (W)	Energia produzida (Wh)
0	0	0	0	0
1	0,203558137	24,8340927	0	0
2	0,257555923	31,4218226	15	11311,85614
3	0,220146879	26,85791924	23,5	15147,86645
4	0,147543407	18,00029564	30	12960,21286

5	0,081596664	9,954793062	40	9556,60134
6	0,038185726	4,658658631	49	5478,58255
7	0,015349853	1,872682046	61	2741,606515
8	0,005353294	0,653101824	72	1128,559952
9	0,001631496	0,199042452	89	425,1546768
10	0,000436911	0,053303192	102	130,4862129
11	0,000103265	0,012598271	120	36,28302074
12	2,16186E-05	0,00263747	130	8,228907514
13	4,02111E-06	0,000490575	122	1,43640441
14	6,66258E-07	8,12835E-05	115	0,224342543

TABELA 5.4 - DETERMINAÇÃO DA ENERGIA PRODUZIDA SEM PERDAS

Bateria	Energia total produzida c/perdas (kWh)	Perdas (bateria+regulador)	Energia total produzida s/perdas (kWh)
Acido chumbo	58927,1	20624,5	38302,6
Iões de Lítio	58927,1	3535,6	55391,5

Da análise comparativa entre o aerogerador acoplado à bateria de ácido chumbo ou o acoplado à bateria de iões de lítio, verifica-se um aumento de produção de energia para o aerogerador acoplado as bateria de iões de lítio, esta diferença de produção de energia deve-se sobretudo às perdas de conversão da tecnologia de iões de lítio serem bastante inferiores às de ácido chumbo.

5.6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O SISTEMA FOTOVOLTAICO PAINEL CIGS E O SISTEMA HÍBRIDO

A figura 5.5 ilustra a comparação de preço por Watt instalado entre o sistema híbrido, composto por um painel CIGS de 180W e um aerogerador de 100W, e o sistema fotovoltaico composto por painel CIGS de 180W.

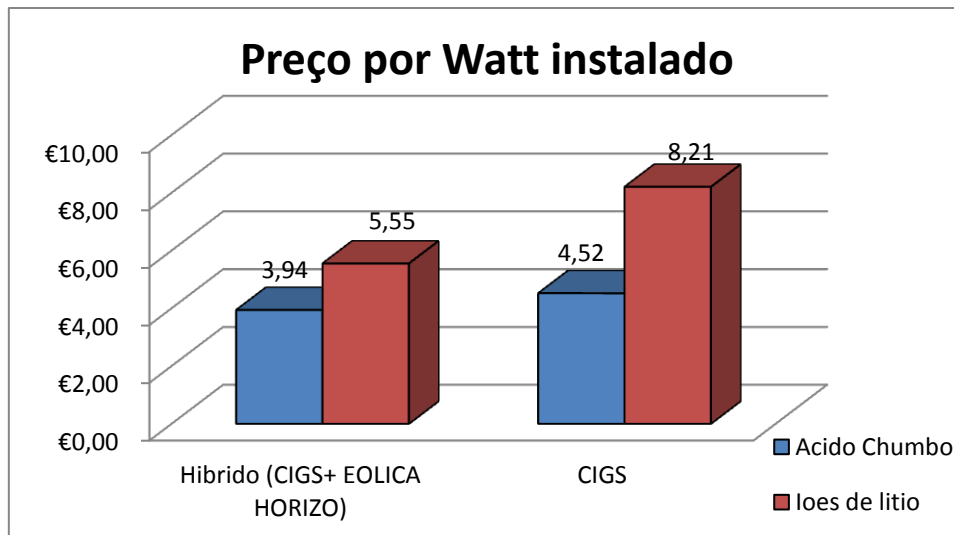


Figura 5.5 – COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA FOTOVOLTÁICO E O SISTEMA HÍBRIDO

Considerou-se para efeito de cálculos o aerogerador terá um vida útil de 20 anos com um output de 100% (sem perdas de produção) de energia produzida ao longo da sua vida útil.

Da análise da tabela 5.5, ao compararmos o sistema híbrido com iões de lítio em relação a tecnologia fotovoltaica CIGS com baterias de lítio, obtém-se uma diferença no custo da energia de menos 32 cêntimos por kWh na implementação do sistema híbrido com baterias de iões de lítio, logo será o sistema mais favorável para implementação do projeto em estudo.

TABELA 5.5 - PREÇO DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA HÍBRIDO

Painel + Bateria	C_inv (€)	C_manut (€)	N_dias_func	Ea_122 (kWh)	Ep_0_3650 (kWh)	Ep_3650_9125 (kWh)	E_total (kwh)	C_energia (€/kWh)
CIGS+LI	821	1.842,16	9125	37,86	1019,43	1359,24	2378,66	1,12
HIBRID+CH	1104	6.468	9125/7300	83,79	1550,5	1928,4	3478,92	2,18
HIBRID+LI	1111	1.842,16	9125/7300	98,16	1736,5	1962,2	3698,74	0,80

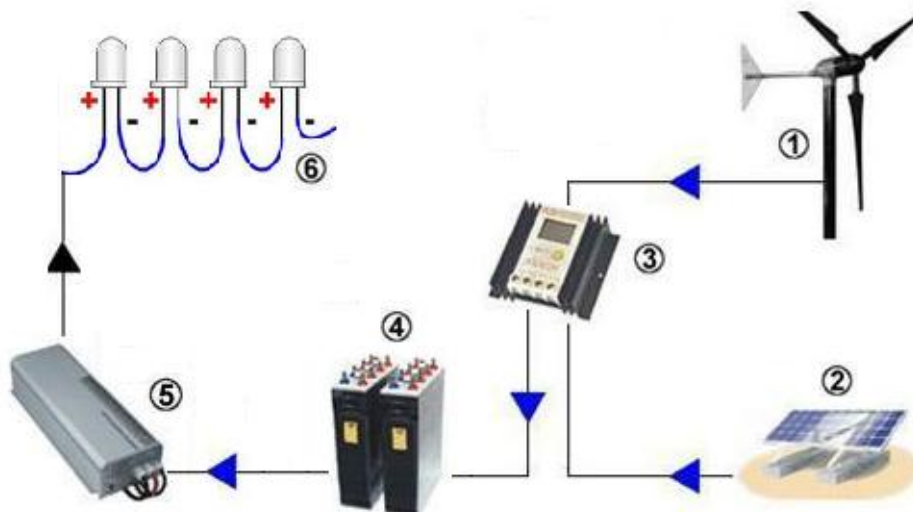


Figura 5.6 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO SISTEMA HÍBRIDO

Legenda:

1. Aerogerador 100W
2. Painel fotovoltaico 100W
3. Regulador de carga
4. Bateria de lítio 90Ah
5. Módulo de conversão a definir
6. Circuito de leds

5.7. ALTERAÇÃO DO CIRCUITO DE LED

O presente ponto tem como finalidade adaptar o circuito de led já utilizado pela empresa “Castros SA” para decoração de arcos e alterá-los de forma a alimentar este circuito pelo nosso sistema de armazenamento e produção de energia elétrica

A alteração consiste não só na adaptação do circuito de led ao sistema híbrido dimensionado, mas também o estudo da eficiência do circuito. Para tal foram efetuados ensaios em laboratório, onde foram feitas medições para determinar o consumo de energia, perdas associadas e a medição da iluminância dos leds com ajuda de um luxímetro. Na tabela 5.6 são listados os equipamentos utilizados nos ensaios em laboratório e as suas funções.

TABELA 5.6 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM LABORATÓRIO

Equipamentos utilizados	Funcionalidade
Fonte de alimentação DC	Alimentação do circuito de led
Amperímetro digital	Medição de correntes
Multímetro digital	Medição de correntes e resistências
Analizador de qualidade de energia	Medição de potências
Luxímetro	Medição de iluminância

5.7.1. RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO CIRCUITO DE LED "ORIGINAL"

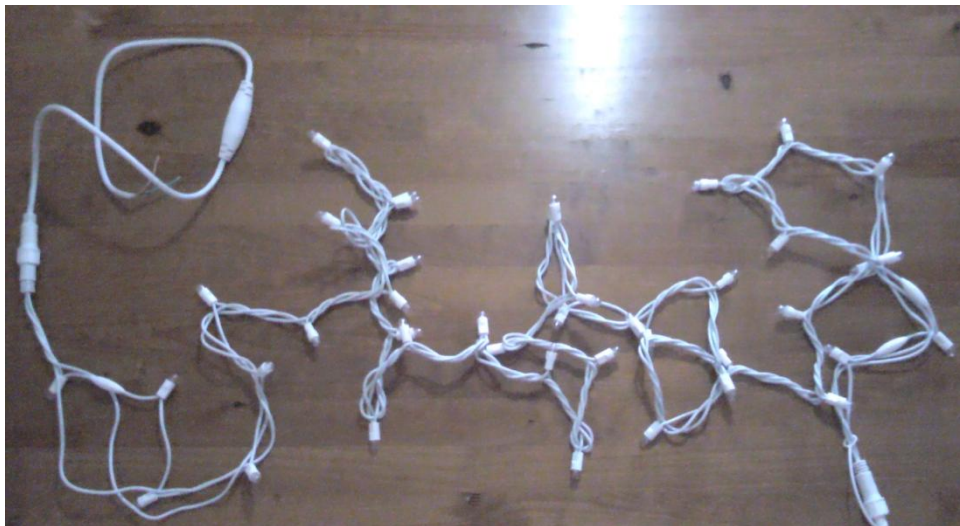


Figura 5.7 – CIRCUITO LED "ORIGINAL"

O circuito de led "original" é composto por:

- 40 Led em serie: com uma corrente de funcionamento de 20 mA e uma queda de tensão de 3V;
- 3 Resistências: 2 de 3.3kΩ e uma de 1.5kΩ;
- 1 Retificador AC/DC

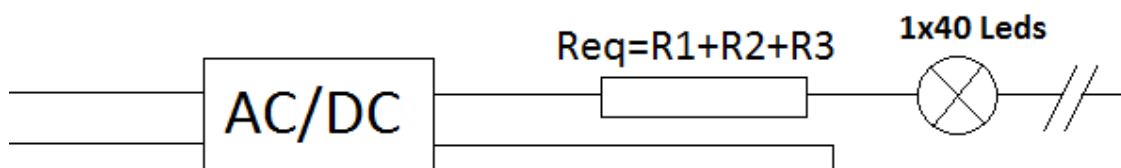


Figura 5.8 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DO CIRCUITO DE LED'S "ORIGINAL"

TABELA 5.7 - DADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO CIRCUITO DE LED "ORIGINAL"

U_tomada	243V
U_R1	19V
U_R2	43,5V
U_R3	43,5V
U_saída_retificador	225V
U_led	3.02V
Iluminância de cada led	84 lux
I_circuito	14mA
P_total	3,48W

$$P_{leds} = U_{leds} \times \text{numero leds} \times I_{circuito} = 1,691W \quad (13)$$

$$P_{resistencias} = (U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}) \times I_{circuito} = 1,485W \quad (14)$$

$$P_{retificador} = P_{total} - (P_{resistencias} + P_{led}) = 0,304W \quad (15)$$

A potência total é de 3,48 W medido com o auxílio do analisador de qualidade de energia Fluke. Considera-se que a energia dissipada pelo retificador é a diferença entre a potência total do circuito e o somatório da potência consumida pelos led com a potência dissipada pelas resistências. Como se pode observar a energia total dissipada ($P_{resistencias} + P_{retificador}$) é superior à energia consumida pelos led (P_{leds}).

5.7.2. RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO CIRCUITO SEM RESISTÊNCIAS E SEM RETIFICADOR

Neste ensaio foram removidas as resistências e o retificador AC/DC. O circuito é apenas composto pela fonte de alimentação DC e o circuito de 40 led em série, com as características atrás mencionadas.

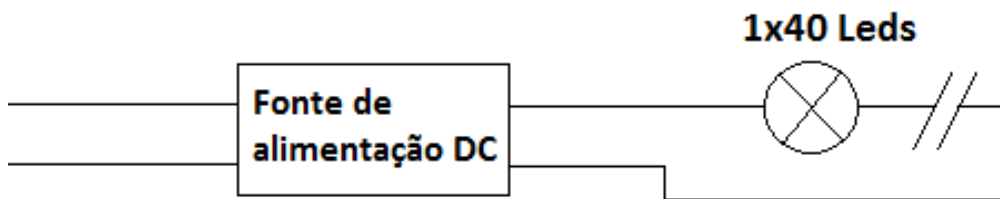


Figura 5.9 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DO CIRCUITO DE LED'S APENAS COM FONTE DE ALIMENTAÇÃO DC

TABELA 5.8 - DADOS OBTIDOS NO ENSAIO COM APENAS FONTE DE ALIEMTNAÇÃO DC

U_fonte	121V
U_led	3.03V
Iluminância de cada led	84,2 lux
I_circuito	14.1mA
P_total	1,72W

Na execução deste ensaio foi ligada diretamente a fonte de alimentação ao circuito de led sem retificador, nem resistências série, foi-se aumentando gradualmente a tensão até se atingir valores de iluminância iguais aos do circuito original, tendo sempre em atenção para não exceder a corrente nominal dos leds.

Verificou-se que o consumo de energia é menos de metade do ensaio anterior.

Este ensaio permitiu-nos concluir que é necessário alimentar os led com uma tensão de 121V DC, para remover as resistências e o retificador.

É obrigatório ter em conta que a bateria a instalar é de 12V, logo será indispensável a conversão de 12V DC para 120V DC para alimentar corretamente o nosso circuito de led.

5.8. POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA ALIMENTAR O CIRCUITO DE LED

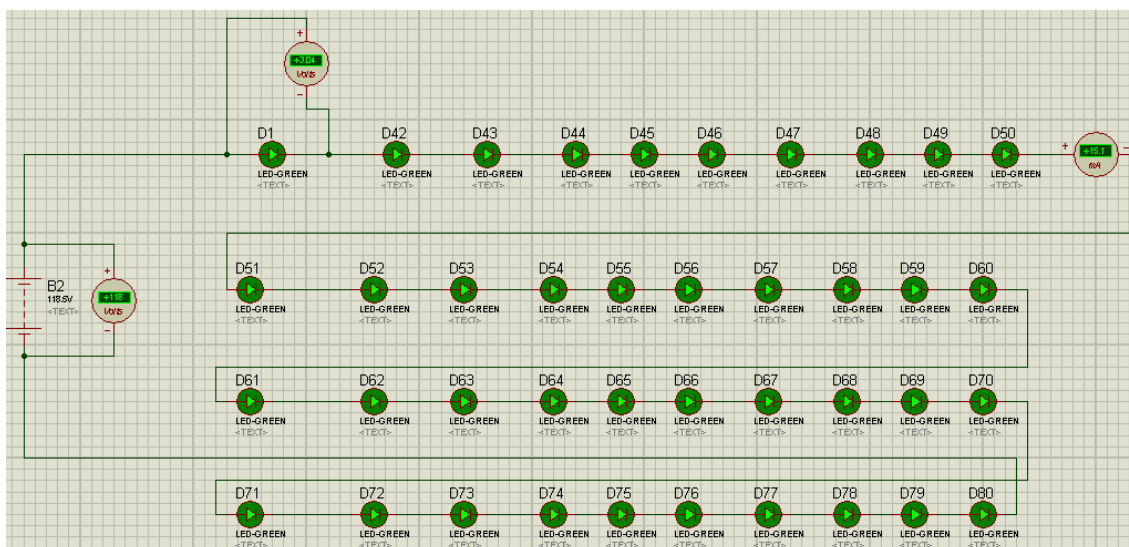


Figura 5.10 – SIMULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 120V DC

Foi efetuada a simulação para a conversão de 12V DC proveniente da bateria para 120V DC, para tal foi utilizada a fonte de tensão DC com uma tensão de 118,5V, simulando que esta é a saída do conversor. Em suma, esta simulação pretende efetuar a alimentação do circuito de leds com uma tensão de 120V DC através da bateria de 12VDC utilizando assim um conversor.

Resultados obtidos na simulação 1:

TABELA 2 -DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 120V DC

U_fonte	118,5V
U_led	3,04V
I_circuito	15,1mA
P_circuito_leds	1,83W
P_total	4,53W

$$P_{total} = P_{circuito_led} + P_{conversor} = 1,83 + 2,7 = 4,53 \text{ W} \quad (16)$$

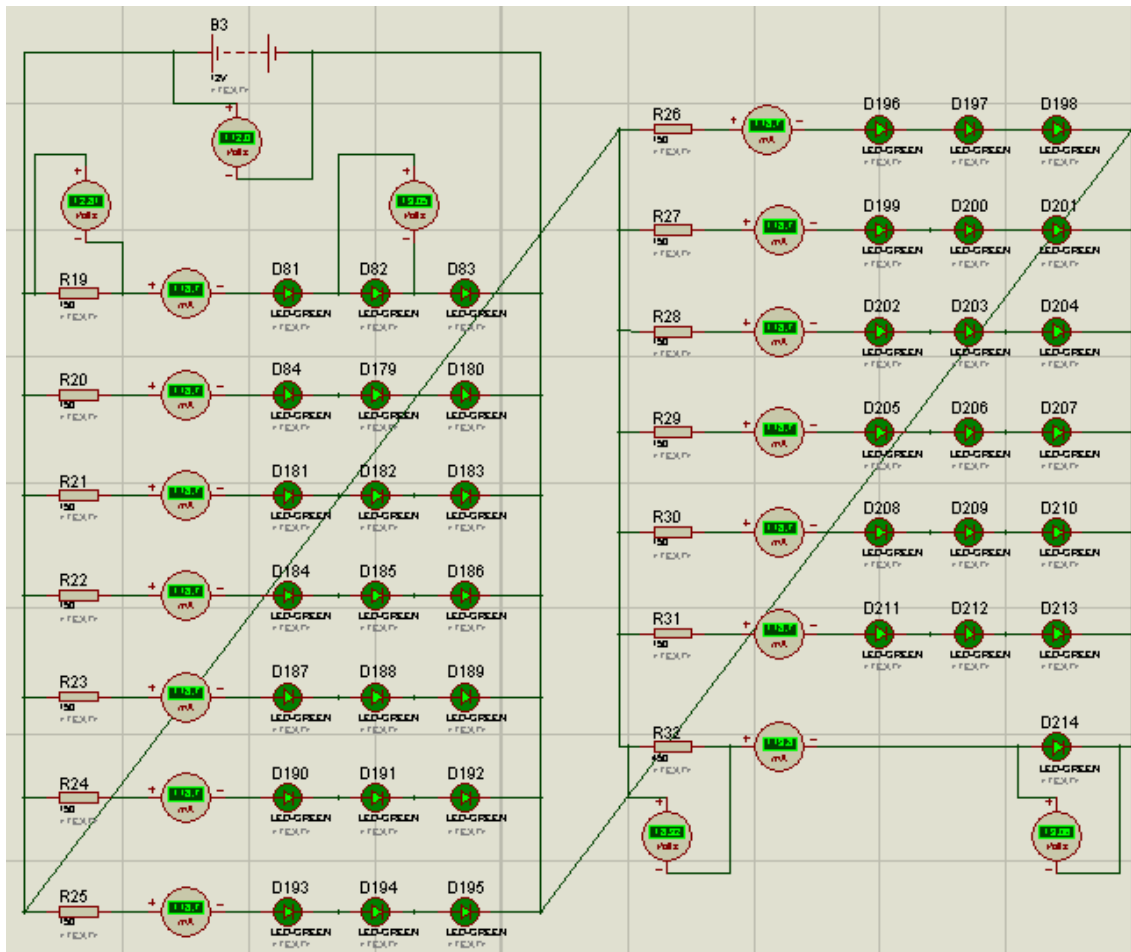


Figura 5.11 – SIMULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO A 12V DC COM RESISTÊNCIA SÉRIE

O método mais convencional será utilizar circuitos paralelos e colocar resistências em série para limitar a corrente da bateria.

O cálculo das resistências série será efetuado pela fórmula:

$$R_{\text{serie}} = \frac{U_{\text{fonte}} - U_{\text{leds}}}{I_{\text{leds}}} = \frac{12 - (3 \times 3)}{0.02} = 150 \Omega \quad (17)$$

A tensão de funcionamento dos led é de 3V, podendo só ter no máximo 3 por cada série a $U_{\text{led}}=9V$, necessitando assim, de uma resistência série de 150Ω para cada série de 3 led.

Resultados obtidos na simulação 2:

TABELA 5.10 - DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CIRCUITO A 12V DC COM RESISTÊNCIA SÉRIE

U_fonte	12V
U_led	3,05V
I_amo 3led	18,7mA
I_amo 1led	19,8mA
U_resistencia 150 Ω	2.81V
U_resistencia 450 Ω	8,92V
P_circuito_led	2,28W
P_total	4,50W

$$P_{\text{total}} = P_{\text{circuito_led}} + P_{\text{resistencias}} = 2,28 + 2,22 = 4,50W \quad (18)$$

A simulação presente na figura abaixo pretende alimentar o circuito de led com 120V DC através da bateria de 12V DC, para efetuar essa transformação será utilizado um conversor ligado à bateria convertendo 12V DC em 120V AC e seguidamente a tensão será retificada pelo retificador de tensão 120V AC para 120V DC.

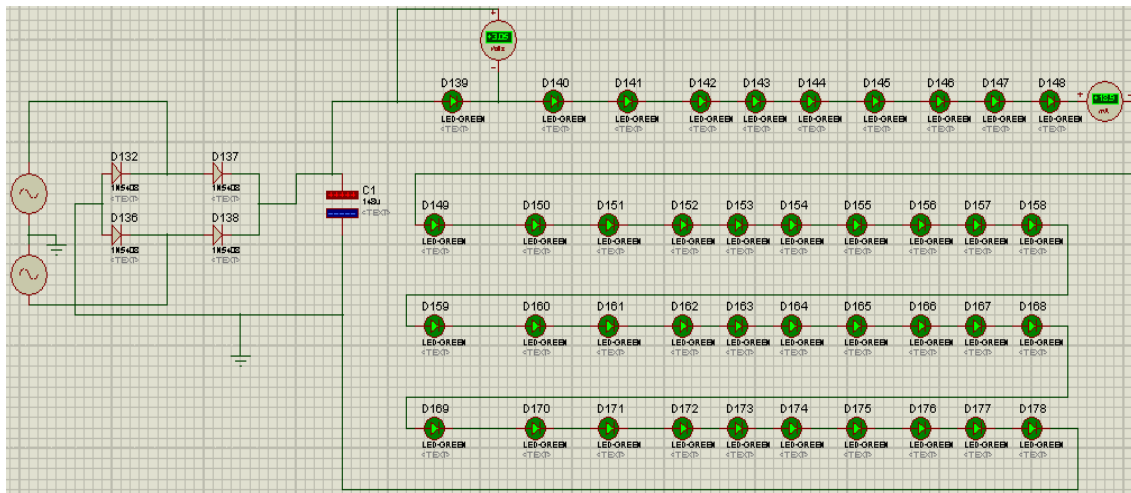


Figura 5.12 – SIMULAÇÃO DE ALIEMNTAÇÃO DO CIRCUITO CONVERSOR E RECTIFICADOR

Resultados obtidos na simulação 3:

TABELA 5.11 - DADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CIRCUITO COM CONVERSOR E RETIFICADOR

U_fonte	120V
U_led	3,05V
I_circuito	13,4mA
P_circuito_led	2,10W
P_total	7,93W

$$P_{total} = P_{circuito_{leds}} + P_{RETIFICADOR_{AC/DC}} + P_{CONVERSOR_{DC/AC}} = 1,63 + 0,304 + 6 = 7,93W$$

(19)

5.9. DISCUSSÃO DE RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Sabendo que o arco de iluminação decorativo utilizado pela empresa Castros é composto por 9 circuitos de led, o mesmo que 360 led, será necessário garantir pelo menos o mesmo número de led com um consumo menor ou igual a 30W, potência para o qual está dimensionado a nossa carga.

TABELA 5.12 - DETERMINAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE CONVERSAO A UTILIZAR

	1 circuito leds			≥9 circuitos & ≤30W			
	P_total_1_circuito	P_circuito_leds	Perdas de Conversão	Circ alimentar	Preço equip conver	P total	Preço equip conver./Circ alimentar
Simul. 1 (DC/DC)	4,53	1,6	2,93	16	157,5	28,5	9,84
Simul. 2 (RESISTENCIAS)	4,31	2,28	2,03	6	1,98	27,8	0,33
Simul. 3 (DC/AC-AC/DC)	7,93	1,63	6,3	14	47,6	29,1	3,40

Ao observar a tabela 5.12 verifica-se os valores de potência total e perdas de conversão obtidos nas três simulações para 1 circuito de led e repara-se que na simulação 3, conversão DC/AC e AC/DC, é a que possui maiores perdas de conversão para um circuito de led. É importante ter em conta que a simulação 2 composta por resistências irá ter perdas de conversão para cada circuito de led a instalar, o que não acontece nas simulações 1 e 3 devido ao conversor alimentar vários circuitos de led.

A escolha do equipamento de conversão terá que cumprir 3 restrições:

- A potência total ser $\leq 30\text{ W}$
- Alimentar um número de circuitos ≥ 9
- Preço de equipamento de conversão/circuito alimentar, ser o menor possível

Como se pode verificar na tabela 5.12 a primeira restrição é cumprida por todas as simulações, a segunda restrição exclui a simulação 2 e a terceira restrição exclui a simulação 1, ficando assim o sistema de conversão composto por um conversor 12VDC/120VAC e um retificador AC/DC correspondente à simulação 3.

É de notar que o preço do equipamento para esta simulação 3 é somente referente ao conversor DC/AC, pois o retificador é existente no circuito de led original, não necessitando de o adquirir.

Uma outra vantagem que a simulação 3 apresenta em relação à simulação 2, é que esta não requer alteração do circuito de led, podendo ser mantida a série de led original já instalada pela empresa.

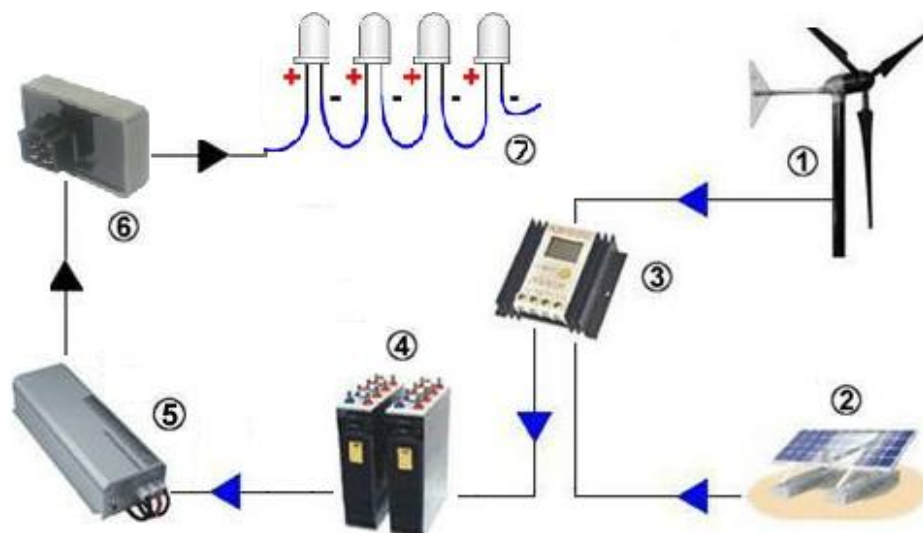


Figura 5.13 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO SISTEMA HÍBRIDO A IMPLEMENTAR

Legenda:

1. Aerogerador 100W
2. Painel fotovoltaico 100W

3. Regulador de carga
4. Bateria de lítio 90Ah
5. Conversor DC/AC
6. Retificador AC/DC
7. Circuito de led

6) COMPARAÇÃO DO SISTEMA ATUAL COM O SISTEMA RENOVÁVEL MAIS FAVORÁVEL

O sistema de iluminação decorativa atualmente instalado pela empresa CASTROS é composto por circuitos de led alimentados por uma baixada da rede elétrica. Os circuitos de led referidos anteriormente são constituídos por séries de 40 led, podendo ser incrementado em paralelo novos circuitos série, de acordo com a necessidade do elemento decorativo a iluminar.

Os circuitos de led utilizados presentemente pela empresa são dotados de resistências com a finalidade de limitar a corrente proveniente da rede, originando elevadas perdas por efeito de Joule.

O sistema renovável mais favorável, para alimentar o sistema de iluminação decorativa, conforme determinado, é o sistema híbrido composto por um painel fotovoltaico do tipo CIGS e um aerogerador de eixo horizontal. Este sistema híbrido é o que oferece o menor custo de energia gerada, como se observa no capítulo 5, sendo este o selecionado para alimentar sistemas de iluminação decorativa.

Este sistema possui vantagem de evitar a requisição de baixadas no local de instalação de elementos decorativos, evitando desta forma o uso de cabos de alimentação entre a baixada e o elemento decorativo, reduzindo o impacto visual gerado pelos cabos.

O facto do sistema convencional estar ligado à rede elétrica pública, a instalação decorativa estará exposta a perturbações causadas pela rede, tais como, cavas de tensão, sobretensões, efeito "Flicker" ou interrupções de serviço.

A desvantagem da implementação do sistema híbrido destinado a produção de energia elétrica para efeitos decorativos está associada ao impacto visual causado pelos painéis fotovoltaicos e ao ruído gerado pelos aerogeradores eólicos, podendo deste modo interferir na decoração das ruas. Esta situação pode ser minimizada ocultando os painéis fotovoltaicos por meio de espelhos na sua parte inferior, refletindo assim as luzes instaladas no arco decorativo. Quanto aos aerogeradores eólicos o

impacto visual pode ser atenuado por meio de leds decorativos instalados nas suas pás, que ao girar permite a criação de um ecrã de led.

O custo da energia gerada pelo sistema híbrido é o principal entrave deste sistema, sendo o preço da energia proveniente da rede elétrica inferior ao custo da energia gerada pelo sistema híbrido.

A principal vantagem da implementação do sistema híbrido está associada à imagem “verde” que a empresa passará a ter. Não valorizando apenas o custo que a energia poderá ter, mas também preocupada com os aspetos ambientais causados pela produção de energia.

7) CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho tornou-se evidente que podemos substituir, em termos técnicos, a alimentação de energia gerada pela rede pública pelos sistemas de microprodução renováveis, suprimindo assim os consumos de eletricidade associados aos sistemas de iluminação decorativa.

Contudo, apesar das diversas virtudes, este tipo de sistemas de microprodução não pode ser adotado para todos os locais, devido a necessidade de uma boa exposição solar e eólica.

O estudo desenvolvido na presente dissertação, permitiu determinar qual o sistema fotovoltaico que mais se adequa à produção de energia para alimentação de sistemas de elementos decorativos. O sistema fotovoltaico tecnicamente mais favorável para este tipo de instalações decorativas é composto por um painel com tecnologia CIGS e uma bateria de íões de lítio. Além de ser o sistema fotovoltaico que melhor se adapta a este tipo de instalações é o que proporciona um menor custo da energia produzida.

Relativamente ao estudo efetuado para o sistema híbrido, concluiu-se que este sistema é o que melhor se adequa a alimentar sistemas de iluminação decorativa. Comparativamente com o sistema fotovoltaico dimensionado, o sistema híbrido gera menor custo de energia produzida e oferece maior continuidade de serviço, dadas as duas fontes de energia se complementarem. Este sistema é composto especialmente por um aerogerador eólico de eixo horizontal, um painel fotovoltaico com tecnologia CIGS e uma bateria de lítio.

No que respeita a adaptação do circuito de led ao sistema renovável híbrido dimensionado, é possível concluir através de simulações em software e ensaios efetuados em laboratório, que o sistema de conversão que melhor soluciona o problema enfrentado é composto por um conversor e um retificador de tensão.

O estudo desenvolvido permitiu concluir que os sistemas híbridos de produção de energia, baseados em energias renováveis ainda não são competitivos em relação à utilização da energia da rede pública. No entanto, o objetivo fundamental apresentado

por este estudo foi atingido, determinando qual o sistema renovável mais favorável para instalações de iluminação decorativa exterior.

REFERÊNCIAS

[Europa.eu] – Site

europa.eu/legislation_summaries/environment/tacklingclimate_change/l28060_pt.htm, Sínteses da Legislação da União Europeia, acedido pela última vez 06/11/2012

[Ernst & Young, 2012] - “Renewable energy country attractive indices”, United Kingdom, 2012

[dgeg.pt] – Site www.dgeg.pt da Direção Geral de Energia e Geologia, acedido pela última vez em 06/11/2012

[epp.eurostat.ec.europa.eu] – Site

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tsdcc310&language=en&toolbox=data>, do Gabinete de Estatísticas Da União Europeia, acedido pela última vez em 06/11/2012

[renovaivesnahaora.pt]–Site

<http://www.renovaveisnahaora.pt/web/srm;jsessionid=463023F31601C6C69DAB1ADBA3F5873C> do Renováveis na Hora, acedido pela última vez em 06/11/2012

[energiasrenovaveis.com] – Site www.energiasrenovaveis.com, Portal das energias renováveis, acedido pela última vez em 06/11/2012

[edp.pt] – Site

<http://www.edp.pt/pt/negocios/minigeracao/Pages/vendaaenergiaqueproduz.aspx>, Energias de Portugal, acedido pela última vez em 06/11/2012

[re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/] Site

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/pvgis_Europe-solar_opt_publication.png, Photovoltaic Geographical Information System, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Patel, 2006] – Patel, Makund; “Wind and Solar Power Systems; New York; 2006

[Estanqueiro, 2000] – Estanqueiro, Ana; “Potencial Eólico em Portugal Continental”; Lisboa, 2000

[Castro, 2009] – Castro, Rui; “Energias Renováveis e Produção Descentralizada”; Lisboa; Março 2009

[Navarte,Lorenzo, 2008] – L, Navarte, E, Lorenzo; “Tracking and Ground Cover Ratio”, Madrid, 2008

[Rother,1999] – Ruther, Ricardo; “Panorama atual da energia utilização da energia fotovoltaica”, Florianópolis, 1999

[sustenta-bilidade.pt] – Site <http://sustenta-bilidade.blogspot.pt/> do Blog de sustentabilidade, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Ferreira, Trindade, Martins, Afonso] - Ferreira Paulo, Trindade Manuel, Martins Júlio, Afonso João; “ Interfaces for Renewable Energy Sources With Electric Power Systems” Braga, 2010]

[sasenergia.pt] - Site <http://www.sasenergia.pt/produtos/eolica.html> do Sas Energia, acedido pela última vez em 06/11/2012

[aveirenovaveis.blogspot.com] - Site <http://aveirenovaveis.blogspot.com/p/solar-fotovoltaico.html> do blogue sobre energias renováveis de Aveiro, acedido pela última vez em 06/11/2012

[power-talk.net] – Site <http://www.power-talk.net/upwind-turbine.html> do Power Talk, acedido pela última vez em 06/11/2012

[e-lee.ist.utl.pt] – Site <http://elee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/Generalites/Generalites/GeneralitesEolien2.htm>, do e-Learnig Tools for Electrical Engeneering acedido pela última vez em 06/11/2012

[Ackermann, 2005] –Ackermann, Thomas “Wind Power in Power Systems”, Sweden, 2005

[designslinger.com] – Site <http://designslinger.com/2010/08/19/wind-catching.aspx> do Blog de Art Architecture Design, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Morais, 2009] – Morais, Josué, “Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Pratica”, Portugal, 2009

[Dürschner, Antony, Remmers, 2007] – “Dürschne, Christian; Antony, Falk; Remmers, Karl-Heinz ”Photovoltaics for Professionals: Solar Electric Systems Marketing, Design and Installation”, Berlin, 2007

[dei.imunho.pt] – Site “<http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/42996.pdf>” Departamento de Eletrónica Industrial Da Universidade Do Minho, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Pomilio, 2009] – Pomilio, José, “Electronica de Potência” Campinas, 2009

[Stevens, Corey, 1996] – Stevens, John and Corey, Garth “A Study of Lead-Acid Battery Efficiency Near Top-of-Charge and the Impact on PV System Design, United States, 1996

[nrdcindia.com] – Site <http://www.nrdcindia.com/pages/leadacid.htm> , National Research Development Corporation, New Delhi, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Martins, 2007] – Martins, Nuno “ Sistema Integrado De Produção e Armazenamento de Energia de Fontes Renováveis, Lisboa, 2007

[<http://pt.wikipedia.org>] – Site http://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_de_%C3%ADon_I%C3%ADtio, da Wikipedia enciclopédia livre, acedido pela última vez em 06/11/2012

[<http://batteryuniversity.com>] – Site http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries, Battery University, acedido pela última vez em 06/11/2012

[imtt.pt] – Site http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Documents/Semin%C3%A1rio%2008%20Mar%C3%A7o%202010%20-%20PDFs/Pedro_Sena_Silva.pdf, do Instituto da Mobilidade e dos Transportes, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Castro, 2009] – Castro, Rui, “Introdução a Energia Eólica”, Lisboa, 2009

[Contreras, Mansfield, Egaas, Li, Romero, Noufi, 2011] - Contreras, Miguel; Mansfield, Lorelle; Egaas, Brian; Li, Jian; Romero, Manuel; Noufi, Rommel , “Improved Energy Conversion Efficiency in Wide-Bandgap Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells”, Germany, 2011

[Calaia,2011] – Calaia, Fabio “Estudo comparativo de três tecnologias fotovoltaicas”, Lisboa, 2011

[ec.europa.eu] – Site

<http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>, da Comissão Europeia, acedido pela última vez em 06/11/2012

[ave.dee.isep.ipp.pt] – Site

http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%20200708/Trabalhos/SIAUT_LEDs.pdf do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do ISEP, acedido pela última vez em 06/11/2012

[electronica-pt] Site <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/126/37/>, do electronica-pt, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Castros.com.pt-1] – Site <http://www.castros.com.pt/>, da empresa Castros Iluminações Festivas, Sa, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Castros.com.pt-1] - Site <http://www.castros.com.pt/pt/portefolio.html> , da empresa Castros Iluminações Festivas, Sa, acedido pela última vez em 06/11/2012

[Garrido,2010] – Emmanuel, Garrido, Conceção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública, Porto, 2010

[inhabitat.com-1] – Site <http://inhabitat.com/rockefeller-center-christmas-tree-goes-green/christmas-tree-rockefeller-center/>, do inhabitat designs will save the world, acedido pela última vez em 06/11/2012

[altpower.com] – Site <http://www.altpower.com/projects/commercial/rockefellercenter/>, do altpower, acedido pela última vez em 06/11/2012

[inhabitat.com-2] – Site <http://inhabitat.com/first-leed-certified-parking-garage/>, do inhabitat designs will save the world, acedido pela última vez em 06/11/2012

[smgov.net] – Site

<http://www.smgov.net/Departments/OSE/categories/content.aspx?id=4419>, do Department of Sustainability and Environment Santa Monica

[minasegerais.blogspot.com] –Site <http://minasegerais.blogspot.pt/2010/06/energia-eolica-e-solar-na-iluminacao.html> do blog de Minas Gerais, acedido pela última vez em 06/11/2012

[macro-wind.com] – Site

<http://www.macro-wind.com/Hybrid%20Powered%20Street%20Lamp%20Project.pdf>
do microwind , acedido pela última vez em 06/11/2012

[en.wikipedia.org] Site http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode da Wikipedia
enciclopédia livre, acedido pela última vez em 06/11/2012

[re.jrc.ec.europa.eu/pvgis] – Site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> do
Photovoltaic Geographical Information System, acedido pela última vez em 06/11/2012
(PVGIS)

[Greenpro, 2004] – Greenpro, “ Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias,
Projeto e Instalação”, Uniao Europeia 2004

[Moreira, 2011]- Moreira, Rita, “Avaliação do potencial eólico em regime de
microgeração”, Porto, 2011

ANEXOS

ANEXO A: SOFTWARES UTILIZADOS

RESTcreen é um programa de fácil utilização, executa sobre o Microsoft excel, foi utilizado essencialmente para obtenção dos valores médios do vento para o cálculo da previsão da energia eólica.

Os dados de entrada são, a introdução do tipo de projeto no nosso caso “produção de electricidade”, o tipo de rede “rede isolada” e a localização dos dados climáticos que no nosso caso é “Porto-Pedras Rubras”.

PVGIS é uma aplicação online, em que a sua utilização é muito simples. É necessário seleccionar os parâmetros de entrada como a localização da instalação, no nosso caso é o Porto, o tipo de tecnologia fotovoltaica a potência total, os ângulos de orientação e inclinação e a percentagem de perdas estimadas. Este programa permitiu o determinar o angulo de inclinação ideal do painel fotovoltaico, o valor da radiância média diária bem como uma previsão da energia produzida diariamente e mensalmente.

Proteus é programa de simulação de circuitos extremamente didático, este programa foi usado para a simulação dos circuitos de leds bem como para as diferentes soluções para alimentação do circuito de leds.

Este programa foi seleccionado não só pela facilidade de utilização, mas também porque é composto por imensas bibliotecas das quais possuía leds com características técnicas muito idênticas às de uso real.

ANEXO B: DATA SHEET DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIGS

TABELA B.1 - DATA SHEET DO PAINEL FOTOVOLTAICO CIGS

Electrical Specifications

Capacity rating	P _{max}	100 W	90 W
Tolerance of P _{max}	%	± 7%	± 7%
Module aperture area efficiency	%	12.7%	11.4%
Rated voltage	V _{mpp}	17.8 V	16.5 V
Rated current	I _{mpp}	5.6 A	5.4 A
Open circuit voltage	V _{oc}	23.3 V	22.0 V
Short circuit current	I _{sc}	6.4 A	6.3 A

Note 1: Standard Test Conditions (STC); Cell Temperature at 25°C; Solar irradiance intensity of 1000 W/m²; AM1.5 solar reference spectrum (ASTM E892)
Note 2: Average efficiency is calculated using the 0.79 m² aperture area of the module **Note 3:** Electrical parameters are +/-10%

Temperature Coefficients

Maximum power	P _{max}	-0.43%/°C
Maximum voltage	V _{max}	-0.38%/°C
Open circuit voltage	V _{oc}	-0.33%/°C
Short circuit current	I _{sc}	-0.03%/°C

Note: Relative to Standard Test Conditions (STC); Solar irradiance intensity of 1000 W/m²; AM1.5 solar reference spectrum (ASTM E892)

Low-Light Performance

Intensity	Relative Efficiency
1000 W/m ²	100%
500 W/m ²	99%
200 W/m ²	91%

Note: Relative to Standard Test Conditions (STC); Cell Temperature at 25°C; AM1.5 solar reference spectrum (ASTM E892)

Mechanical Specifications

Dimensions	2017 x 495 x 3.5 mm (83 x 19.5 x 0.13 in)
Weight	2.6 kg without adhesive (2.6 kg/m ²) 3.3 kg with adhesive (3.3 kg/m ²)
Junction Box	TE Connectivity SOLARLOK™ Micro Junction Box
Cables	4 mm ² dual rated with SOLARLOK™ connectors
Front Sheet	ETFE
Solar Cells	36 CIGS cells (210 x 100 mm)
Adhesive	ADCO Heliobond™ PVA 600BT butyl mastic
Hot Spot Protection	2 bypass diodes at each cell; 1 at junction box
Materials	Lead free and exempt from RoHS requirements
Maximum Series Fuse Rating	10 Amp
Color Options	Black (B) or White (W) backsheets behind cells

Operating Conditions

Temperature Range	-40°C to + 85°C
Maximum System Voltage	1000VDC IEC, 600VDC UL

Certifications and Warranty**

EN 61646, EN 61730, UL 1703
Materials and workmanship - 5 years
Power output - 25 years (90% @ 10 yrs; 80% @ 25 yrs)

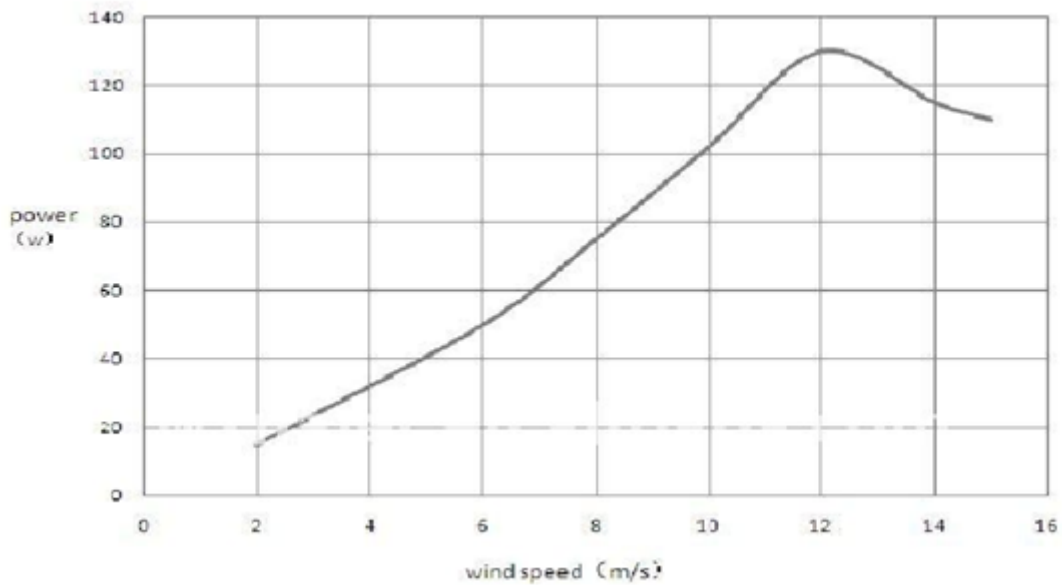
**Contact GSE for complete warranty terms



Also available in
4.0m x 0.5m or 6.0m x 0.5m modules

ANEXO C: DATA SHEET DO AEROGERADOR DE EIXO HORIZONTAL

TABELA C.1 - DATA SHEET DO AEROGERADOR DE EIXO HORIZONTAL



Model	NE-100S
Rated power	100W
Maximum power	130W
Nominal voltage	12/24V
Start wind speed	2.0m / s
Rated wind speed	10m / s
RPM	400r / m
Security wind speed	65m / s
Host Net	6.0kg
Wind wheel diameter	1.2 m
Leaf number	3
Blade material	Nylon fiber
Generator	Three-phase permanet magnet synchronous generator
Controller system	Electromagnetic/wind round laterlization
Speed way	Automatically adjust the windward angle
Lubrication	Lubrication
Temperature	-40 -80

ANEXO D: DATA SHEET BATERIA DE IÕES DE LÍTIO

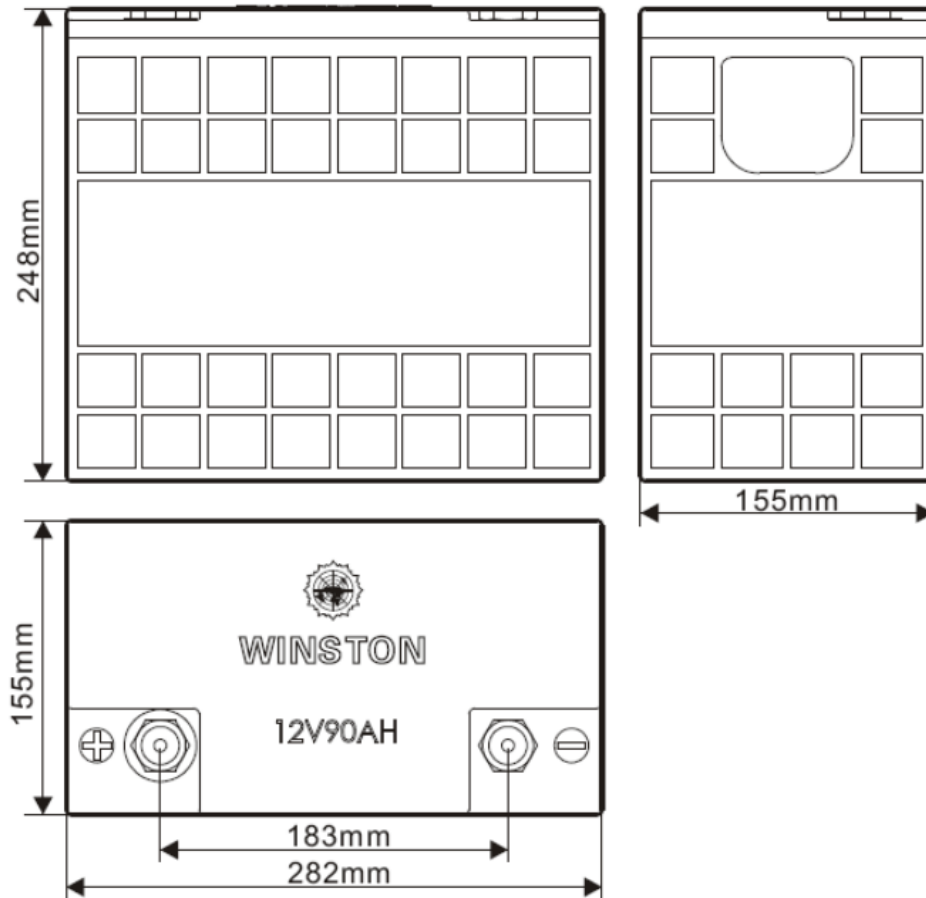
TABELA D.1 - DATA SHEET BATERIA DE IÕES DE LÍTIO

GWL/ Power Group Technology Solutions - Stay Powered for the Future

LP12V90AH+ (WB-LP12V90AH)



Model name	LP12V90AH+	Older product marking TS-LP12V90AH
Nominal voltage	12 V	Operating voltage under load is 12.0 V
Capacity	90 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 16.0V - min 11.0V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	10 V	The cells is damaged if voltage drops below this level
Maximal charge voltage	16 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 45 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 90 A	1 C, continuous for max 30 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 1000 A	10 C, maximal 10 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 45 A	0.5 C
Maximal charge current	< 90 A	< 1 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	283 x 248 x 155	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	15 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)



ANEXO E: DATA SHEET DO REGULADOR DE CARGA

TABELA E.1 - DATA SHEET DO REGULADOR DE CARGA

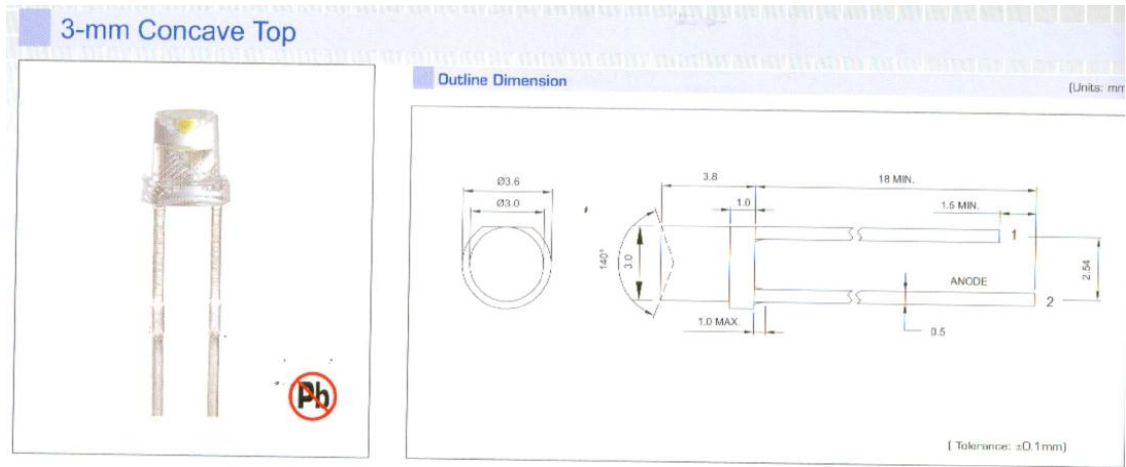
Specification	MPPT15	MPPT15	MPPT30	MPPT30	MPPT60	MPPT60	MPPT60
Rated Voltage	12V / 24V / 48V						
Max Load current	10A	15A	20A	30A	40A	50A	80A
Input voltage range	12V~40V/24V~80V/48V~110V						
Lengths≤1m Charge loop drop	<250mv	<250mv	<250mv	<250mv	<250mv	<250mv	<250mv
Lengths≤1m Discharge loop drop	<50mv	<50mv	<50mv	<50mv	<50mv	<50mv	<50mv
Full charge cut	13.7V / 27.4V / 54.8V						
Low voltage cut	10.5~11V / 21V~22V / 42V~43V						
Temperature compensation	-3mv/°C/cell						
No load loss	≤10mA	≤10mA	≤20mA	≤20mA	≤30mA	≤40mA	≤50mA
Efficiency	95%—97%	95%—97%	95%—97%	95%—97%	95%—97%	95%—97%	95%—97%
Max wire area	2.5mm ²	2.5mm ²	4mm ²	6mm ²	8mm ²	10mm ²	16mm ²
Ambient temperature	-25°C—55°C						

ANEXO F: DATA SHEET DO CONVERSOR DC/AC

TABELA F.1 - DATA SHEET DO CONVERSOR DC/AC

Model	TEM-160-121	TEM-160-241	TEM-160-481	TEM-160-122	TEM-160-242	TEM-160-482
Rated Power	160W	160W	160W	160W	160W	160W
Max. Continuous Power	320W	320W	320W	320W	320W	320W
DC input voltage	12V	24V	48V	12V	24V	48V
AC output voltage	100V/110V/120V AC			220V/230V/240VAC		
No-load current	<0.2A	<0.1A	<0.05A	<0.2A	<0.1A	<0.05A
AC output frequency	50Hz/60HZ					
AC output waveform	Modified Sine Wave					
Waveform distortion	THD<2%(Linear load)					
Efficiency	>85%	>90%	>92%	>88%	>90%	>92%
DC input voltage range	10.5-15V	21-30V	42-60V	10.5-15V	21-30V	42-60V
Low Voltage Alarm	10.5+/-0.3V	21+/-0.3V	42+/-0.3V	10.5+/-0.3V	21+/-0.3V	42+/-0.3V
Low Voltage Shutdown	10+/-0.3V	20+/-0.3V	40+/-0.3V	10+/-0.3V	20+/-0.3V	40+/-0.3V
Over Voltage Protection	15.5+/-0.5V	31+/-1V	62+/-2V	15.5+/-0.5V	31+/-1V	62+/-2V
Low Voltage Recovery	12+/-0.5V	24+/-1V	48+/-2V	12+/-0.5V	24+/-1V	48+/-2V
Over Voltage Recovery	14.8V	29.5V	59V	14.8V	29.5V	59V
Protective Function	Low/Over voltage: LED Red light, automatic recovery					
	Over load: LED Red light, automatic recovery					
	Over temperature : LED Red light, automatic recovery					
	Short circuit: LED Red light, automatic recovery					
	Input reverse connection: Fuse burn-out					
Working Temp.	-5°C—60°C					
Storage Temp. Humidity	-30°C-70°C					
Dimension	114*68*35mm					
Weight	480g					

ANEXO G: DATA SHEET DO LED



Absolute Rating Limits

Parameter	Symbol	Rating		Units
		Red/Yellow/Amber	Blue/Green/White	
Power Dissipation	P_D	44	70	mW
DC Forward Current	I_F	20	20	mA
Pulsed Forward Current ★	I_{FDC}	100	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5		V
Operating Temperature	T_{opr}	-30 ~ +80		°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +85		°C

★ Pulse width $T_{ws} \leq 0.1$ ms, Duty ratio $\leq 1/10$

Electro-Optical Characteristics

[Ta=25°C]

Part NO.	Chip				Housing Color	If=20mA/die				Viewing Angle
	Material	Emitted Color	λ_c (nm)			Forward Voltage(V)		Luminous Intensity(mcd)		
			Min.	Max.		TYP	Max.	MIN	TYP	
NL33340EC-XX	AlGaInP/GaAs	Red	620	630	WATER CLEAR	2.0	2.4	50	100	100°
NL33340AC-XX	AlGaInP/GaAs	Amber	600	615	WATER CLEAR	2.0	2.4	50	100	100°
NL33340YC-XX	AlGaInP/GaAs	Yellow	587	594	WATER CLEAR	2.0	2.4	50	100	100°
NL33360GC-XX	InGaN/GaN	Green	520	530	WATER CLEAR	3.0	3.6	150	500	100°
NL33360BC-XX	InGaN/GaN	Blue	465	470	WATER CLEAR	3.0	3.6	30	200	100°
NL33360WC-XX	InGaN/GaN	White	/	/	WATER CLEAR	3.0	3.6	100	300	100°

Tolerance: VF ± 0.05V, IV ± 10%

FIGURA G.1 - DATA SHEET DO LED