



**UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR**

**Engenharia**

**Proposta do Sistema de Conversão e Controlo  
Electrónico de Postos de Carregamento com Recurso a  
Energia Solar**

**Alfredo Sango Buzi Luemba**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Electrotécnica e de Computadores**  
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

**Covilhã, Junho de 2018**



# Dedicatória

A toda minha família, pelo amor e afeto que me têm dado desde a minha nascença até hoje. Em especial ao meu falecido irmão **André Mavungo Luemba**, que DEUS o tenha, por me ter sugerido em fazer este curso, e por ter sido a minha fonte de inspiração para realização desta dissertação.



# Agradecimentos

Em primeiro lugar a DEUS Pai Todo Poderoso, por conceder-me a oportunidade para a realização deste trabalho, e pela concretização de mais um dos meus objetivos.

A minha esposa Digna Zau e a minha filha, pela paciência, coragem e força que me têm dado para atingir mais uma meta da minha vida.

Aos meus familiares em geral, pela força e apoio em todos momentos da minha vida e especialmente pelo apoio que incansavelmente me têm dado.

Aos meus amigos e colegas que sempre estiveram comigo nos bons e maus momentos da minha vida e acima de tudo por me incentivarem aos estudos.

A todos os docentes do departamento de Electromecânica, em particular a Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, pelo ensejo de desenvolver esta dissertação.



# Resumo

Atualmente, os veículos eléctricos têm sido indispensáveis no crescimento da sociedade moderna, e têm ganhado espaço no ramo da indústria, de maneira a substituir os veículos de combustão interna, devido ao grande impacto ambiental que estes veículos têm causado ao meio ambiente.

No entanto, espera-se que num futuro próximo, os veículos de combustão interna, possam ser substituídos por veículos eléctricos.

A bicicleta eléctrica desempenha um fundamental papel na sociedade atual, sendo um meio de transporte ambientalmente amigável, e não só. Também pelo facto de ser barato e de utilizar energia limpa. Este meio de transporte tem sido adotado por muitas pessoas, especialmente em cidades muito congestionadas.

A bicicleta eléctrica é um veículo constituído por motor eléctrico, que é o responsável pela tração da bicicleta; a bateria, que fornece a energia eléctrica para alimentação do motor, e outros componentes integrados nela.

Faz-se uma abordagem da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos e da crescente evolução dos mesmos. Porém, os módulos fotovoltaicos são os responsáveis em gerar a energia eléctrica para poder alimentar as bicicletas. A partir desta abordagem, efetuou-se um estudo onde são descritos os componentes utilizados na instalação do sistema fotovoltaico, tais como os módulos fotovoltaicos, o inversor, as baterias, etc.

O inversor representa um fundamental papel no processo de conversão de energia em DC produzida pelos módulos fotovoltaicos para AC, para que possa ser injetada na rede eléctrica pública. Além de injetar a energia na rede, o inversor fornece energia às baterias para poder armazenar energia.

As baterias têm sido um recurso importante para o armazenamento de energia nos sistemas fotovoltaicos, quando os módulos fotovoltaicos produzem mais energia do que a necessária para alimentar a carga. Essa energia armazenada é utilizada para poder alimentar a carga, quando a produção é inferior à demanda.

## Palavras-chave

Veículo Eléctrico, Bicicleta Eléctrica, Sistema Fotovoltaico, Baterias.



# Abstract

Nowadays, electric vehicles have been indispensable in the growth of modern society, and have gained space in the industry branch, to replace the vehicles of internal combustion, due to the great environmental impact that these vehicles have caused to the environment. However, it is expected that in the near future, internal combustion vehicles may be replaced by electric vehicles. The electric bicycle plays a fundamental role in today's society, being an environmentally friendly means of transportation, not only because it is cheap, but also because it uses clean energy. This kind of transport has been adopted by many people, especially in very congested cities. The electric bicycle is a vehicle made up of electric motor, which is responsible for the traction of the bicycle; the battery, which supplies the electric power for motor power, and other components integrated in it.

In this work, the technology of photovoltaic systems and its growing evolution tendency are aborded.

The photovoltaic panels are responsible for generating electricity to feed the bicycles. From this, a study was carried out where the components used in the installation of the photovoltaic system, such as the photovoltaic modules, the inverter, the batteries, etc., are described. The inverter represents a fundamental role in the process of converting energy produced in DC by photovoltaic modules to AC, in order to be injected into the public power grid. In addition to injecting power into the grid, the inverter provides power to the batteries in order to store energy. Batteries have been an important resource for energy storage in photovoltaic systems, when photovoltaic modules produce more energy than the required by the load. This stored energy is used to feed the load, when energy production is lower than demand.

## Keywords

Electric Vehicle, Electric Bicycle, Photovoltaic System, Batteries.



# Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação	3
1.3. Objetivo Geral do Trabalho	3
1.4. Estrutura do Trabalho	4
2. Bicicleta Eléctrica	9
2.1. Tipos de Bicicletas Eléctricas	10
2.1.1. Bateria	11
2.1.2. Principais Tipos de Baterias	11
2.1.2.1. Bateria de chumbo-ácido	11
2.1.2.2. Bateria de Iões de Lítio	11
2.1.3. Motor Eléctrico	12
2.1.4. Tipos de Motores Eléctricos	12
2.1.4.1. Motor Eléctrico Com Escovas	12
2.1.4.2. Motor Eléctrico Sem Escovas	13
2.2. Descrição das Bicicletas Eléctricas e Kits	14
2.2.1. Avaliação das EBs	15
2.2.2. Avaliação dos Kits	16
2.3. O Mercado das Bicicletas Eléctricas no Mundo	18
2.4. Bicicleta Eléctrica em Portugal	19
2.5. Seleção da Bicicleta Eléctrica	20
3. Conversores DC-DC	25
3.1. Controlo de Conversores DC-DC	25
3.2. Tipos de conversores DC-DC	26
3.2.1. Conversor DC-DC Não Isolados	26
3.2.1.1. Conversor Buck (step-down)	26
3.2.1.2. Conversor Boost (step-up)	28
3.2.1.3. Conversor Buck-Boost (step-up/step-down)	29
3.2.2. Conversor DC-DC Isolados	30
3.2.2.1. Conversor Flyback (Buck-Boost isolado)	31
3.2.2.2. Conversor Forward (Buck isolado)	32
3.2.2.3. Conversor Push-Pull	34

3.3. Conversores Bidirecionais .....	34
3.3.1. Conversores DC-DC Bidirecionais não-Isolados .....	36
3.3.2. Conversores DC-DC Bidirecionais Isolados.....	37
4. Sistema de Carregamento de Veículos Eléctricos .....	43
4.1. Topologias de Sistemas de Carregamento das Bicicletas Eléctricas .....	43
4.1.1. Rede Eléctrica-Bicicleta.....	44
4.1.2. Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Bicicleta .....	44
4.1.3. Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta.....	45
4.1.4. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Bicicleta .....	45
4.1.5. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta.....	46
4.1.6. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Conversor DC/DC - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica .....	46
4.1.7. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Conversores DC/AC -Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta.....	47
4.1.8. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta.....	48
4.2. Comparação dos Sistemas de Carregamentos.....	48
5. Baterias .....	53
5.1. Tipos de Células .....	53
5.1.1. Células Primárias .....	53
5.1.2. Células Secundárias .....	54
5.2. Tipos de Baterias.....	54
5.2.1. Baterias de Chumbo- Ácido (Pb-acid).....	55
5.2.2. Baterias de Níquel-Cádmio (NiCd).....	56
5.2.3. Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel (NiMH) .....	57
5.2.4. Baterias de Iões de Lítio (Li-íon).....	58
5.2.5. Baterias de Polímero de Lítio (Li-poly) .....	60
5.3. Comparação de Baterias .....	60
5.4. Algoritmos de Carregamento para Baterias .....	61
5.5. Comparação dos Métodos de Carregamento .....	64
5.6. Tipos de sistemas de carregamentos de EVs .....	64
5.6.1. Sistema de Carregamento com Ligação Condutiva .....	65
5.6.3. Estações de Troca de Baterias .....	66
5.7. Informações Adicionais.....	67
6. Geração de Energia Solar Fotovoltaica .....	71
6.1. Tipos de Sistemas PVs .....	72
6.1.1. Sistemas PVs Isolados ou Autónomos (off-grid).....	72
6.1.2. Sistemas Híbridos .....	73
6.1.3. Sistemas PVs Ligados à Rede (on-grid).....	73

6.2. Inversores Solar.....	74
6.2.1. Tipos de Inversores Solar .....	76
6.2.1.1. Inversores Off-Grid.....	76
6.2.1.2. Inversores Híbridos.....	77
6.2.1.3. Inversores Grid-Tie.....	77
6.3. Tecnologias PV.....	78
6.3.1. Primeira Geração (Silício Cristalino) .....	79
6.3.2. Segunda Geração (Película Fina).....	80
6.3.3. Terceira Geração (Células Orgânicas).....	81
6.4. Benefícios/Vantagens da Energia Solar PV .....	81
6.5. Outras Informações .....	82
7. Proposta do Sistema de Conversão e Controlo Electrónico de Postos de Carregamento..	87
7.1. Estabelecimento dos Parâmetros Operacionais do Sistema de Carregamento de Conversão.. .....	87
7.2. Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico .....	88
7.2.1. Escolha do tipo de módulos Fotovoltaicos .....	88
7.2.2. Cálculo para Determinar o número de Módulos PVs .....	89
7.2.3. Dimensionamento e seleção do inversor .....	89
7.2.4. Cálculo para Determinar o número Máximo e Mínimo de Módulos por Fileira .....	90
7.2.5. Cálculo para Determinar o número de Fileiras em Paralelo .....	92
7.2.6. Configuração do Gerador PV.....	93
7.2.7. Dimensionamento da Cablagem para Sistemas PV .....	94
7.2.8. Dimensionamento e seleção de Banco de Baterias .....	98
7.2.9. Proteção de Sistema PV.....	98
7.2.10. Contador de Energia do Sistema PV .....	98
8. Conclusão Geral	103
Referências Bibliográficas .....	107



# Lista de Figuras

Figura 2.1 - a) Motor eléctrico com escovas; b) Motor eléctrico com escovas da Bicicleta Eléctrica [19]-[20] .....	12
Figura 2.2 - a) Motor eléctrico sem escovas; b) Motor eléctrico sem escovas de bicicleta eléctrica [22]-[23] .....	13
Figura 2.3 - Classificação dos motores eléctricos [17] .....	13
Figura 2.4 - Bicicleta Eléctrica de marca Fat Bike [24]. .....	15
Figura 2.5 - Bicicleta eléctrica de marca Conor [25] .....	15
Figura 2.6 - Bicicleta eléctrica de marca Btwin [26] .....	16
Figura 2.7 - Bicicleta eléctrica de marca Kalkhoff Pro [27] .....	16
Figura 2.8 - Kit de bicicleta eléctrica [6] .....	17
Figura 2.9 - Kit de bicicleta eléctrica [6] .....	17
Figura 2.10 - Kit de bicicleta eléctrica [6] .....	17
Figura 2.11 - Previsão de Venda de bicicletas eléctricas na China e no resto do Mundo [29] .....	18
Figura 2.12 - Bicicleta eléctrica UOU Bike [35].....	20
Figura 2.13 - Bicicleta eléctrica de marca Conor [25] .....	21
Figura 3.1 - Conversor Buck [21] .....	27
Figura 3.2 - Tensão Vab [21] .....	27
Figura 3.3 - Circuito Boost [42].....	28
Figura 3.4- Tensão à bobina [42].....	28
Figura 3.5 - Conversor Buck-Boost [42] .....	29
Figura 3.6 - Tensão aos terminais da bobina [17] .....	30
Figura 3.7 - Conversor Flyback [42] .....	31
Figura 3.8 - Tensão no primário do Transformador [42] .....	31
Figura 3.9 - Conversor Forward [42].....	32
Figura 3.10 - Tensão na bobina.....	33
Figura 3.11 - Conversor Push-Pull [44] .....	34
Figura 3.12 - Configuração geral do conversor DC-DC bidirecional [48] .....	35
Figura 3.13 - Conversor DC-DC bidirecional não-isolado básico [48].....	36
Figura 3.14 - Esquema geral de conversor DC/DC bidirecional isolado [48].....	37
Figura 3.15 - Esquema eléctrico de conversor DC-DC bidirecional com configuração em Ponte Completa [48]. .....	38
Figura 4.1 - Sistema de Carregamento Rede Eléctrica-Bicicleta .....	44
Figura 4.2 - Sistema de Carregamento Rede Eléctrica-Convertidores-Bicicleta .....	44
Figura 4.3 - Sistema de carregamento Rede Eléctrica - Convertidores DC/DC - Baterias-Bicicleta .....	45
Figura 4.4 - Sistema de Carregamento PV - Convertidores DC/DC - Bicicleta.....	45

Figura 4.5 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta ....	46
Figura 4.6 - Sistema de carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica .....	47
Figura 4.7 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Conversores DC/AC- Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Conversores DC/DC - Bicicleta ..	47
Figura 4.8 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta .....	48
Figura 5.1 - Bateria de Chumbo-Ácido [15] .....	56
Figura 5.2 - Bateria de Níquel cadmio [17] .....	57
Figura 5.3 - Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel [17] .....	58
Figura 5.4 - Bateria de Iões de Lítio [54] .....	59
Figura 5.5 - Bateria de Polímero de Lítio [56] .....	60
Figura 5.6 - Métodos de carregamentos: (a) método de carregamento CC/CV; (b) método de cobrança multi-estágio; e (c) e (d) método de carregamento por pulsos (carga de pulso de frequência variável e abaixo da corrente de pulso de função variável) [59]. .....	63
Figura 5.7 - Comparação dos métodos de carregamento [59]. .....	64
Figura 5.8- Carregamentos com fios: (a) Posto de carregamento; (b) Carregador doméstico [55] .....	65
Figura 5.9 - Sistema de carregamento com ligação indutivo [61] .....	66
Figura 5.10 - Estação de troca de bateria da Better Place [55] .....	67
Figura 5.11 - Solar Bike [62] .....	68
Figura 6.1 - Sistema PV Isolado [72] .....	72
Figura 6.2 - Sistema Híbrido [69] .....	73
Figura 6.3 - Sistema PV conectado à Rede [77] .....	74
Figura 6.4 - Simbologia do inversor [71] .....	75
Figura 6.5 - Diagrama de Inversor Solar [69] .....	75
Figura 6.6 - Diagrama de inversor off-grid [84] .....	76
Figura 6.7 - Diagrama de Inversor híbrido [72] .....	77
Figura 6.8 - Inversor on-grid [73] .....	78
Figura 6.9 - Célula de Silício Monocristalino [79] .....	79
Figura 6.10 - Célula de Silício Policristalino [87] .....	80
Figura 6.11 - Célula PV de Filme Fino [79] .....	80
Figura 6.12 - Célula PV Orgânica ligada em Paralelo [89] .....	81
Figura 6.13 - Célula solar que opera como inversor [91] .....	83
Figura 7.1 - Sistema de carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica .....	87

# Lista de Tabelas

Tabela 5.1 - Características de armazenamento das baterias [43] .....	54
Tabela 5.2 - Comparação entre as diversas tecnologias de baterias [9] .....	61
Tabela 7.1 - Características da Instalação do Sistema PV .....	93
Tabela 7.2 - Avaliação do Financeira do Projeto.....	99



## Lista de Acrónimos

km	Quilómetro
km/h	Quilómetro por hora
TAG	Twist and Go
PAS	Pedal Assisted System
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
W	Watt
V	Volt
A	Ampère
Ah	Ampère hora
PWM	Pulse Width Modulation
DC	Direct Current
$V_i$	Tensão de Entrada
$V_o$	Tensão de Saída
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
UPS	Uninterruptible Power Supply
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
EV	Electric Vehicle
DAB	Dual Active Bridge
VLA	Vented Lead-Acid
VLRA	Valve-Regulated Lead-Acid
AGM	Absorbed Glass Mat
NiCd	Níquel cádmio
NiMH	Hidretos Metálicos de Níquel
Li-íon	Iões de Lítio
kWh	Quilo Watt hora
€/kWh	Euro por quilo Watt hora
Wh/kg	Watt hora por quilograma
Wh/l	Watt hora por litro
W/kg	Watt por quilograma
USABC	United States Advanced Battery Consortium
SoC	State of Charge
PV	Photovoltaics
$W/m^2$	Watt por metro quadrado
$kWh/m^2$	Quilo Watt hora por metro quadrado
Si	Silício

c-Si	Silício cristalino
p-Si	Silício policristalino
m-Si	Silício monocristalino
a-Si	Silício amorfo
a-Si:H	Silício amorfo hidrogenado
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CdTe	Telureto de cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, índio e Gálio
CC	Constant Current
CV	Constant Voltage
TC	Trickle Charge
DL	Double-Loop
BC	Boost Charge
FL	Fuzzy-Logic
GP	Grey-Predicated
PLL	Phase-Locked Loop
OIC	Optimal Ion Conductivity
VFPC	Variable Frequency Pulse Charge
VDPC	Variable Duty Pulse Current
DM	Detection Mode
SM	Search Mode
CM	Charge Mode
RE	Rede Eléctrica
EB	Electric Bicycle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
RES	Renewable Energy Source
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracker
SB	Solar Bike
EU	European Union

---

# CAPÍTULO 1

---

Introdução



# 1. Introdução

No presente capítulo faz-se nomeadamente uma breve análise sobre os veículos eléctricos, as fontes renováveis de energia em Portugal, bem como a motivação que levou à abordagem deste tema. Apresenta-se, dum modo generalizado, algumas ideias sobre os pontos mencionados acima, assim como outros pormenores que serão abordados nesta dissertação.

## 1.1. Enquadramento

Em meados do século XIX apareceram pela primeira vez os veículos eléctricos. Os anos de 1899 e 1900 foram o ponto alto dos veículos eléctricos nos Estados Unidos, superando todos os outros tipos de veículos. Um exemplo foi o Phaeton de 1902 construído pela Woods Motor Vehicle Company de Chicago, que tinha um alcance de 18 milhas (28,97 km), uma velocidade máxima de 14 mph e custou 2.000 \$. Houve um grande declínio mundial no uso deste tipo de veículo, devido do seu alto custo, baixa velocidade e curta autonomia, comparado com veículos de combustão interna, embora tenham continuado a ser usados, como são exemplo os trens eléctricos e outros [1]-[2].

A grande aposta em veículos eléctricos e noutros combustíveis alternativos surgiram no princípio do século XXI, devido à preocupação crescente com os problemas associados aos veículos movidos a hidrocarbonetos, incluindo as emissões de gases poluentes na atmosfera, que têm causado danos ao meio ambiente, e a sustentabilidade de infraestruturas de transporte baseada em hidrocarbonetos, bem como ao facto de se assistir a melhorias na tecnologia de veículos eléctricos [1].

Com a crise do petróleo na década de 1970, surgiu a necessidade de encontrar alternativas ao uso da gasolina e, mais recentemente, as preocupações ambientais, na redução de gases de efeito de estufa, com a assinatura do protocolo de Quioto, têm conduzido a grandes evoluções na mobilidade eléctrica e na produção de energia eléctrica a partir de energias renováveis [3]. A utilização de veículos de duas rodas (bicicleta eléctrica) é o modo mais eficiente de transporte de pessoas, exibindo um consumo de energia inferior ao despendido pela deslocação a pé em percursos com baixo declive e com ganhos significativos no tempo de deslocação.

Apesar de existirem boas condições para o uso da bicicleta em muitas cidades em Portugal, há ainda restrições ao uso de veículo eléctrico desta natureza. Pensamos que tal se deva a uma questão cultural, mas também à inexistência de infraestruturas de circulação de velocípedes que proporcionem segurança e ainda ao facto de nos meses de maior potencial de utilização haver bastante calor e exigir um esforço que os cidadãos não têm querido suportar.

A utilização dos sistemas de mobilidade que envolvam menor esforço físico têm ajudado a popularizar as bicicletas eléctricas em todo o mundo. São bicicletas comuns com uma ligeira diferença, de possuírem um motor eléctrico, fazendo que estas sejam ideais para trajetos curtos, nomeadamente para ir e voltar da escola ou do trabalho, ajudando o ciclista a manter

nas subidas um bom ritmo sem muito esforço. O alto preço dos combustíveis, a preocupação com o aquecimento global, e os benefícios de saúde proporcionados pelas bicicletas, estão a ajudar a impulsionar as vendas das bicicletas eléctricas em toda a parte do mundo.

O grande benefício de possuir uma bicicleta eléctrica está intimamente relacionado com a qualidade do meio ambiente, o baixo custo de transporte e a qualidade de vida.

A bicicleta eléctrica, para além de ser considerada o meio de transporte mais ecológico que existe, não obriga por enquanto, a seguro ou licença de condução, à detenção de registo de propriedade, tornando-se num veículo muito acessível. Embora seja hoje vista sobretudo como uma forma de lazer, é fundamental que a população descubra as vantagens da sua utilização como meio de transporte nos meios urbanos.

A facilidade que este veículo tem para poder fluir no trânsito faz dela uma boa alternativa em questões de rapidez de mobilidade [4].

Portugal tem um índice de dependência energética elevada, tendo importado 74,8% da energia consumida em 2017, segundo dados da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). O nível registado no ano passado é o segundo mais baixo da última década, apenas batido pelos 73,7% de 2014. Nos últimos anos, este indicador tem vindo a baixar refletindo a aposta em fontes endógenas, de que são exemplo a energia eólica e a hidroelétrica. Por outro lado, em resultado da crise económica, o país sofreu uma retração nos consumos energéticos, não explorando quaisquer recursos energéticos fósseis no território desde 1995 (quando deixou de extrair carvão), a sua produção própria de energia assenta exclusivamente no aproveitamento dos recursos renováveis [5]-[6].

Além do problema da elevada importação de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo, e o gás natural, existem os desequilíbrios ambientais associados à sua utilização. Por isso, existe hoje uma dinâmica bastante forte na implementação em recursos de energias renováveis, ao passo que se promove a utilização de fontes de energia endógenas. Isto leva à diversificação das fontes de energia primária que, quando associadas à atenuação da intensidade energética, através da consciencialização da utilização de medidas de eficiência energética, contribuem no aumento da segurança energética nacional [7].

Portugal é um dos países da União Europeia com melhores condições de exposição solar, com cerca de 2200 horas/ano na zona Norte do país, e cerca de 3000 horas/ano na região Sul. Os incentivos associados à aquisição destes equipamentos, bem como as tarifas especiais bonificadas de compra desta electricidade por parte da rede têm permitido o crescimento da produção descentralizada e o desenvolvimento da tecnologia solar. A microprodução descentralizada tem implicado uma nova forma de entender e controlar as redes eléctricas. O consumidor, que também pode ser um produtor, introduz mudanças no paradigma eléctrico, nomeadamente ao nível da estimativa da produção descentralizada e na adaptação da produção nos grandes centros produtores de forma a responder em tempo real às necessidades de consumo. A dinâmica das redes de energia é um novo conceito e uma realidade com a qual é necessário lidar, além disso, o veículo eléctrico introduz um novo fator de dinâmica nas redes eléctricas.

Com a contínua melhoria das tecnologias das baterias e com a descida dos preços dos veículos eléctricos, devido à produção em larga escala, estima-se que a utilização deste veículo nos próximos anos seja massificada [3].

Para que o uso de bicicletas eléctricas não constitua um problema, é necessário que haja recursos energético suficientes para poder satisfazer a carga das mesmas. Neste contexto, faz-se necessário a utilização de fontes renováveis de energia para resolver o problema do abastecimento de energia das bicicletas.

## **1.2. Motivação**

O presente trabalho pretende contribuir para a evolução da mobilidade eléctrica, que por sua vez poderá desempenhar um papel muito importante na redução de emissões dos gases poluentes para a atmosfera. Não se pode resolver o problema simplesmente pela mobilidade eléctrica, porque é necessário que as baterias dos veículos eléctricos sejam carregadas utilizando fontes renováveis de energia que não sejam ambientalmente prejudiciais, isto é, utilizando recursos de energias renováveis.

A motivação primordial deste trabalho reside no estudo de sistemas de conversão electrónica de energia a incluir em postos de carregamento de bicicletas eléctricas, permitindo aplicar o conhecimento adquirido durante a formação, com a necessidade de encontrar um veículo que permita o transporte de pessoas para curtas e médias distâncias, com custos de aquisição e de manutenção reduzidos.

Pode-se solucionar alguns dos problemas das bicicletas convencionais através das bicicletas eléctricas, isto é, pode percorrer-se longas distâncias com menor esforço, economizando assim, os custos no transporte. Existem algumas vantagens relacionadas com as bicicletas eléctricas quando comparadas com os veículos de combustão interna, designadamente o preço do combustível, os impostos de circulação, o seguro do transporte, e as manutenções periódicas do veículo.

A bicicleta eléctrica ajuda a exercer atividades físicas, e proporciona ao utilizador a redução de custos no transporte para curtas e médias deslocações.

## **1.3. Objetivo Geral do Trabalho**

A atual clara aposta na introdução de veículos eléctricos, do tipo totalmente eléctrico e PHEV (plug-in hybrid electric vehicle), no sistema de mobilidade, reforça a importância da investigação e desenvolvimento de sistemas de carregamento de baterias cada vez mais eficientes. Neste novo paradigma, as bicicletas eléctricas, enquanto meio de transporte adequado a percursos citadinos, é uma nova aposta. Para além das preocupações na definição estratégica da localização da rede de postos de carregamento, da colaboração com a rede eléctrica para aproveitamento das melhores tarifas e exploração máxima da contribuição de

energias renováveis, surge a necessidade de desenvolver sistemas privados ou públicos para carregamento de veículos.

É objetivo principal deste trabalho o estudo dos sistemas de conversão electrónica de energia a incluir em postos de carregamento de bicicletas, com recurso a energia solar. Este objetivo principal enquadra-se nos objetivos de um projeto em desenvolvimento no Departamento de Electromecânica da Universidade da Beira Interior, no qual se pretende implementar um sistema de mobilidade entre os edifícios da Universidade utilizando bicicletas eléctricas. Também, pretende-se desenvolver sistemas para carregamento dessas bicicletas com recurso a energia fotovoltaica.

Neste contexto, pretende-se analisar e propor sistemas conversores electrónicos capazes de entregar a energia gerada à rede, a sistemas de armazenamento locais, e às bicicletas eléctricas. O sistema deverá ser definido tendo como objetivo a eficiente conversão de energia, com preocupações ao nível da gestão de energia, da adaptação a sistemas modulares e com a possibilidade da adoção de estratégias de controlo inteligentes.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

Esta dissertação encontra-se dividida em oito capítulos. Em seguida será feita a descrição do conteúdo dos mesmos numa forma breve.

No **capítulo 1** apresenta-se a parte introdutória do trabalho, e enquadra-se o problema em estudo. São também apresentadas as motivações para a realização desta dissertação, bem como os objetivos desta pesquisa.

No **capítulo 2** apresentam-se as bicicletas eléctricas, tendo como base um histórico desde o surgimento das mesmas até hoje. Com maior ênfase, faz-se o estudo de viabilidade económica das bicicletas eléctricas comercializadas em Portugal, bem como a seleção das mesmas para utilização neste trabalho.

No **capítulo 3** efetua-se um estudo conciso sobre os conversores DC-DC mais utilizados em aplicações modernas, as suas topologias, e as funcionalidades de cada tipo de conversor.

No **capítulo 4** apresentam-se os sistemas de carregamento utilizados em veículos eléctricos. De seguida são abordadas diversas topologias utilizadas em sistemas de carregamento de veículos eléctricos.

No **capítulo 5** apresenta-se um estudo generalizado sobre as baterias. Assim sendo, começa-se por apresentar as diferentes tecnologias e as topologias mais utilizadas em baterias, fazendo-se uma comparação entre elas. E por fim, apresenta-se a bateria que tem sido mais utilizada em veículos eléctricos. Posteriormente, são ilustrados os algoritmos de carregamento das baterias, e novas tecnologias para elevar a autonomia das baterias dos veículos eléctricos.

No **capítulo 6** apresentam-se os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica para produção de energia eléctrica. São descritos alguns sistemas de geração de energia, nomeadamente os sistemas isolados, híbridos e os sistemas conectados à rede eléctrica pública.

Seguidamente, são abordadas as tecnologias de geração de energia solar fotovoltaica. No final do capítulo são apresentadas as vantagens/benefícios da energia solar fotovoltaica.

No **capítulo 7** apresentam-se as propostas do sistema de conversão e controlo electrónico de postos de carregamento, bem como o dimensionamento do sistema proposto.

No **capítulo 8** apresentam-se as conclusões retiradas no desenrolar desta dissertação.

## **Conclusão**

A finalidade deste capítulo é fazer a introdução do conteúdo que será abordado neste trabalho, e apresentar a estrutura desta dissertação.

Apresentam-se neste trabalho diversos tópicos abordados para poder cumprir com os objetivos traçados no mesmo.

Por fim, serão expostas as conclusões obtidas no decorrer deste trabalho.



---

# **CAPÍTULO**

# **2**

---

**Bicicleta Eléctrica**



## 2. Bicicleta Eléctrica

### Introdução

Desde os tempos mais remotos que o homem vem buscando maneiras de se locomover com mais rapidez e eficiência. Isso motivou, no decorrer do tempo, vários cientistas, inventores e curiosos a obterem veículos de transporte não somente para se deslocar de um lugar a outro, mas também para descobrir e explorar, como um instrumento de liberdade [8].

Devido à crescente poluição e aos congestionamentos gerados com o aumento do tráfego de veículos nas vias, tem-se buscado formas alternativas de locomoção com menor impacto ambiental. Uma dessas alternativas é a utilização da bicicleta eléctrica. Embora as tecnologias recentes, como os veículos híbridos e veículos a combustíveis menos poluentes estejam surgindo, a bicicleta eléctrica é ainda uma das melhores opções, com zero emissões, e ambientalmente amigáveis, sendo uma alternativa para o transporte em muitas cidades [9].

A elevada quantidade de veículos existentes no país, e as grandes filas, que congestionam as vias, muita das vezes um dos grandes motivos de atraso de muitas pessoas quando se deslocam para os seus locais de trabalho, escola, etc, não esquecendo também as dificuldades de estacionamento desses veículos. É uma das formas de poder diminuir todos estes constrangimentos, é a utilização das bicicletas, de forma a facilitar a locomoção com maior rapidez.

No final do século XIX, surgiram as primeiras ideias de construção das bicicletas eléctricas. Em 1895 Ogdem Bolton Jr. inventou a primeira bicicleta eléctrica, tendo sido construída nos Estados Unidos da América. Neste mesmo ano, Ogdem Jr., inventou um modelo sem engrenagens e com motor que era alimentado com uma corrente de 100 A, a partir de uma bateria de 10 V. Dois anos depois, Hosea W. Libbey of Boston inventou um modelo que utilizava dois motores.

Durante o século XX, surgiram diversos tipos de bicicletas eléctricas. Jesse D. Trucker teve a ideia de produzir um motor com engrenagens internas que permitiam que a roda da bicicleta ficasse livre, sendo possível pedalar com ou sem o auxílio eléctrico.

Nos anos 90 foram inventados os sensores de binário e os controladores de potência. Com o início da era tecnológica, o mercado de bicicletas eléctricas começou a expandir-se graças à redução do preço dos componentes e o surgimento de novas tecnologias, inclusive com formas inovadoras de recarregar a bateria, como a energia do movimento e a energia solar. Hoje, o mercado das bicicletas eléctricas é um mercado em expansão envolvendo grandes indústrias pelo mundo [10].

Até ao momento, a bicicleta eléctrica (EB) tem sido um meio de transporte de tráfego popular pelos seus próprios méritos (por exemplo: tamanho reduzido, baixo consumo de energia, sem emissões de gases poluentes na atmosfera, baixo preço, etc.) [11].

A EB é um veículo híbrido com duas rodas, equipado com um motor eléctrico numa das rodas ou no centro dos pedais, podendo dispensar qualquer tipo de esforço [12]. O motor eléctrico

da bicicleta não elimina completamente a necessidade do usuário de pedalar, mas auxilia no transporte, ficando ao critério do usuário se quer ou não o auxílio do motor nas pedaladas. Hoje em dia podem-se encontrar diversos modelos de EBs, atingindo apenas a velocidade máxima de 25 km/h, como regulamentado [13]. Portanto, a seguir faz-se menção às topologias das EBs.

## 2.1. Tipos de Bicicletas Eléctricas

Existem diversos tipos de EBs, mas serão destacados os dois tipos mais comuns, que são:

- **E-Bikes**
- **Pedelecs**

### **E-Bikes**

Este veículo permite ao ciclista escolher três maneiras diferentes de usar a assistência eléctrica: só no pedal, sem ajuda do motor; pedalar com ajuda do motor; ou somente com o motor eléctrico.

As E-Bikes utilizam o sistema conhecido pela sigla TAG (Twist And Go), que literalmente significa “torça e vá”, ou seja, gire o acelerador e vá. Nessas bicicletas, a velocidade chega facilmente aos 50 km/h e assim, o veículo deixa de ser classificado como uma bicicleta e torna-se aos olhos da lei num ciclomotor eléctrico, já que por definição bicicleta é um veículo de propulsão humana. Essa característica traz para a E-Bike complicações com a legislação de trânsito em muitos países [13].

### **Pedelecs**

Este veículo é também conhecido como Pedal Electric Bicycle e utiliza o sistema conhecido como PAS (Pedal Assisted System), que só funciona se o ciclista pedalar. Em 1999 foi empregado o termo Pedelec pela primeira vez, pela investigadora britânica Susanne Brusch numa revista científica, sendo este tipo de bicicleta eléctrica o que tem mais simpatia e aprovação dos órgãos de trânsito internacionais. Nas Pedelec, um sensor de pedalada só liberta o auxílio eléctrico se o ciclista estiver a pedalar. O sensor decide automaticamente por meio de um microprocessador qual o valor de potência necessária, dependendo da quantidade de esforço que o ciclista está a aplicar.

Ao atingir 25 km/h, por exemplo, a ajuda eléctrica é interrompida. Para muitos, essa é a verdadeira bicicleta eléctrica e a Pedelec é a atual aposta das empresas ligadas ao fabrico deste tipo de veículos, como a alemã Bosch, que produz o sistema eléctrico conhecido como “Mechatronic System” que já equipa, por exemplo, todos os sete modelos eléctricos da marca suíça Scott [13].

De acordo com a legislação portuguesa, mais propriamente no Decreto-lei nº44/2005, as bicicletas eléctricas são velocípedes equipados com motor eléctrico auxiliar de potência máxima contínua de 250 W, e a velocidade máxima limite é de 25 km/h [14].

Após ter sido feita a descrição dos tipos de bicicletas eléctricas, destacam-se dois componentes fundamentais das bicicletas eléctricas, que são:

- Bateria
- Motor.

### **2.1.1. Bateria**

A bateria é um dispositivo que converte a energia química contida nos seus materiais ativos diretamente em energia eléctrica, por meio de reações eletroquímicas de oxidação e redução. No caso de uma bateria recarregável esta é recarregada por uma inversão do processo. As reações eletroquímicas (oxidação-redução ou vice-versa) causam a transferência/fluxo de eletrões de um material para outro, através de um circuito eléctrico que faz a ligação entre os dois materiais. A bateria é constituída por uma ou mais células eletroquímicas, ligadas electricamente em série ou em paralelo para fornecer a tensão e corrente de operação requerida [15].

### **2.1.2. Principais Tipos de Baterias**

Existem vários tipos de baterias, mas apenas serão destacados os dois tipos de baterias que mais se utilizam nas bicicletas eléctricas [16]:

- Chumbo-ácido
- Iões de Lítio.

#### **2.1.2.1. Bateria de chumbo-ácido**

Têm células de gel e são as mesmas utilizadas nos equipamentos de “No Break”. Duram entre 300 e 400 ciclos completos e custam até um quinto do preço de uma de lítio [13].

#### **2.1.2.2. Bateria de Iões de Lítio**

São mais leves, são amplamente utilizadas em telemóveis e computadores portáteis, e duram até 800 ciclos, mas têm o inconveniente do seu alto preço. Uma bateria de Iões de lítio da marca Samsung por exemplo, chega a custar 300 a 650 €.

O peso é ainda um fator negativo das baterias (especialmente nas de chumbo-ácido), que chegam a pesar 8 kg ou mais. Não é em vão que a grande parte das bicicletas eléctricas chegam a pesar em torno dos 22 kg, podendo atingir mais de 25 kg [13].

### 2.1.3. Motor Eléctrico

O motor eléctrico é uma máquina destinada a transformar energia eléctrica em energia mecânica. É bastante utilizado por reunir inúmeras características favoráveis, das quais se podem realçar: utilização de energia de baixo custo (a energia eléctrica é barata), facilidade de transporte (baixo peso), simplicidade de comando e construção, versatilidade de adaptação (cargas com diferentes características) e melhores rendimentos comparativamente a outras tecnologias.

Existem diferentes topologias de motores eléctricos, e podem ser classificadas em dois grupos principais [17].

### 2.1.4. Tipos de Motores Eléctricos

Os dois principais tipos de motores eléctricos utilizados nas EBs são:

- Com escovas
- Sem escovas.

#### 2.1.4.1. Motor Eléctrico Com Escovas

Um motor DC com escovas inclui um comutador e escovas que convertem uma corrente DC. À medida que a corrente flui através do comutador e através dos enrolamentos de armadura, o campo eletromagnético repele os magnetos mais próximos com a mesma polaridade e faz com que as linhas do campo magnético girem para os magnetos de polaridade oposta. À medida que a armadura gira, o comutador inverte a corrente na bobina da armadura para repelir os magnetos mais próximos, fazendo que o motor rode continuamente, Figura 2.1. O facto de este motor poder ser alimentado por tensões e correntes DC torna-o muito atractivo para aplicações de baixo custo [18].

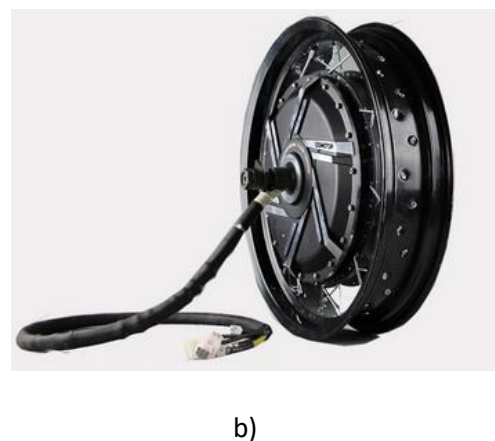
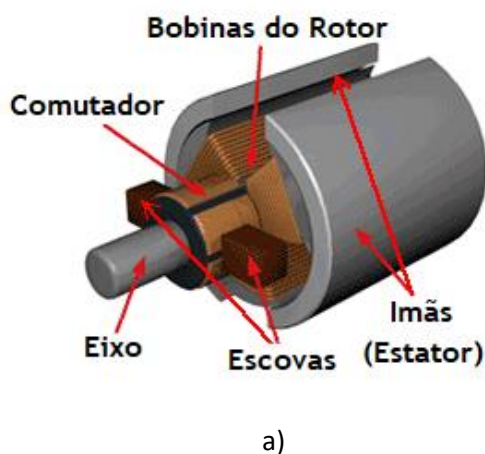


Figura 2.1 - a) Motor eléctrico com escovas; b) Motor eléctrico com escovas da Bicicleta Eléctrica [19]-[20]

### 2.1.4.2. Motor Eléctrico Sem Escovas

Um motor sem escovas realiza a comutação electronicamente, usando o retorno da posição do rotor para determinar quando mudar o sentido da corrente. Os enrolamentos do estator funcionam em conjunto com os magnetos permanentes colocados no rotor para gerar uma densidade de fluxo quase uniforme no entreferro, Figura 2.2. Isso permite que as bobinas do estator sejam alimentadas por uma tensão DC constante (daí o nome DC sem escovas) [18]. Este motor tem sido amplamente utilizado em aplicações industriais que exigem alta confiabilidade e controlo preciso devido à sua estrutura simples, alcance de aceleração e alta potência [21].



Figura 2.2 - a) Motor eléctrico sem escovas; b) Motor eléctrico sem escovas de bicicleta eléctrica [22]-[23]

De forma sucinta, apresenta-se na Figura 2.3, a classificação dos motores eléctricos.

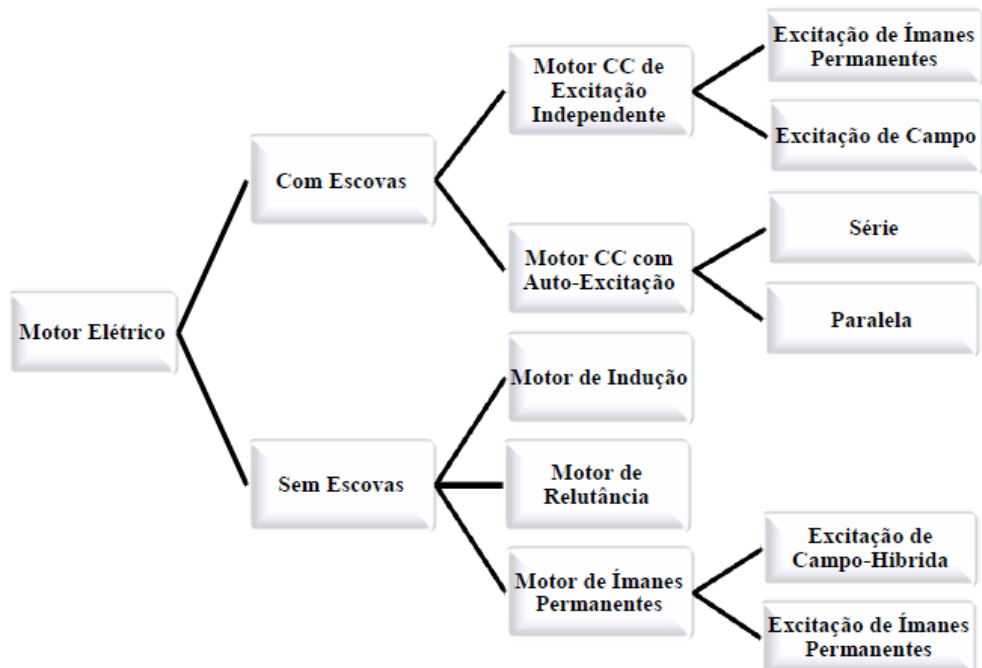


Figura 2.3 - Classificação dos motores eléctricos [17]

Existem algumas vantagens das bicicletas eléctricas, comparando com outros tipos de veículos. A seguir serão mencionadas algumas vantagens das bicicletas eléctricas.

### **Vantagens**

A principal vantagem da EB com relação à bicicleta convencional está na sua praticidade. Esta é um veículo praticamente não poluente para circular pela cidade de forma prática e rápida. A EB cumpre uma função especial na mobilidade urbana para quem tem limitação física ou não quer chegar suado ao trabalho/escola, criando uma independência em relação aos carros e à lotação do transporte público. Ela incentiva o exercício físico ao mesmo tempo em que é uma grande aliada em trajetos com subidas. O facto de poder contar com a assistência eléctrica, e exigir menos esforço nas pedaladas, torna as pessoas mais confiantes a percorrerem distâncias um pouco maiores, e diminui o gasto na deslocação [10].

### **Benefícios de possuir uma bicicleta eléctrica**

- Uma ótima oportunidade de ficar em forma;
- É mais económico;
- Não existe a necessidade de licenças ou impostos para circulação;
- É o meio de transporte mais rápido nas grandes cidades;
- Evita chegar suado no trabalho, escola, etc...

### **Problemas**

Deve-se levar em consideração a poluição indireta gerada pela EB na geração de energia eléctrica para a sua utilização, para além do seu fabrico e desmantelamento, e nesse caso as baterias eléctricas são o principal problema. Mesmo assim, os efeitos positivos para o meio ambiente ainda levam vantagem, já que uma EB tem um impacto ambiental muito menor que os veículos de combustão interna [10].

Nesta secção, faz-se um estudo generalizado sobre as EBs e os kits comercializados em Portugal. Portanto, a seguir descreve-se as EBs e os kits que foram analisados para posteriormente seleccionar para este projeto.

## **2.2. Descrição das Bicicletas Eléctricas e Kits**

Existem diversas marcas de bicicletas eléctricas em Portugal; entretanto, serão destacadas apenas algumas.

Serão apresentadas algumas EBs, e não só, também alguns kits existentes no mercado português, segundo a pesquisa que se fez.

### 2.2.1. Avaliação das EBs

A bicicleta de marca Fat Bike é uma bicicleta utilizada especialmente em zonas montanhosas tal como a nossa cidade da Covilhã. A bicicleta tem o motor instalado na roda de trás, e com uma potência de 1500 W e 48 V. Está equipada com uma bateria de iões de lítio da marca Samsung de 17,5 Ah e 48 V, e um Display Lcd KT-LCD3 e tem uma autonomia de 50 km. O seu preço de venda indicativo ronda os 1 685 € + IVA. Esta bicicleta pode ser adquirida em qualquer loja da Ebike, Figura 2.4 [24].



*Figura 2.4 - Bicicleta Eléctrica de marca Fat Bike [24].*

A seguir apresenta-se uma bicicleta que tem características propícias para ser utilizada em zonas montanhosas, e não só, robusta e com excelentes acabamentos. É uma bicicleta de marca Conor 6700 com um motor traseiro com 500 W e 48 V, e tem uma bateria de iões de lítio da marca Samsung de 11,6 Ah e 48 V, e um Display LCD; tem uma autonomia de 50 à 60 km, e custa à volta de 1 163,15 € + IVA. Esta bicicleta pode ser adquirida em qualquer loja da Ebike, Figura 2.5 [25].



*Figura 2.5 - Bicicleta eléctrica de marca Conor [25]*

A bicicleta da marca Btwin tem um motor central com 250 W e 48 V, ma bateria de 11,6 Ah e 36 V e um Display Lcd. Tem uma autonomia de 50 a 90 km, e custa 1 900 €. Esta bicicleta pode ser adquirida numa loja da Decathlon, Figura 2.6 [26].



*Figura 2.6 - Bicicleta eléctrica de marca Btwin [26]*

Por último, apresenta-se a bicicleta de marca Kalkhoff Pro, que é uma bicicleta robusta e com excelentes acabamentos, com um motor traseiro com uma potência de 250 W e 36 V, uma bateria de iões de lítio com 36 V e 11 Ah, e um Display Lcd; tem uma autonomia de 50 km, e está no valor de 2 349 €. Esta bicicleta pode ser usada em áreas montanhosas, e pode ser adquirida em qualquer loja da Dourobike, Figura 2.7 [27].



*Figura 2.7 - Bicicleta eléctrica de marca Kalkhoff Pro [27]*

Após a descrição das bicicletas, serão descritas alguns Kits encontrados no mercado de Portugal.

### **2.2.2. Avaliação dos Kits**

Existem poucas lojas de venda de kits de EB em Portugal, portanto, fez-se o estudo dos kits na loja Ebike, sendo esta a única fonte de informação sobre os equipamentos analisados, Figura 2.8. Neste caso, serão apresentados 3 kits completos [28].

O primeiro kit contém alguns elementos como: o motor, o acelerador, o travão, o regulador, o display e a luz dianteira. O motor é traseiro, com uma potência de 1500 W e 48 V, e o kit custa 460 € + IVA, mas não está incluída a bateria. A bateria vende-se em separado, pelo valor de 630 €+ IVA. Assim, o valor total do kit completo é de 1 090 € + IVA.



Figura 2.8 - Kit de bicicleta eléctrica [6]

Apresenta-se de seguida um kit que tem os seguintes acessórios: motor, acelerador, controlador, travões, display e luz dianteira, Figura 2.9. O motor é traseiro, e tem uma potência de 500 W e 48 V, o kit custa 330 € + IVA. Este kit não inclui a bateria, que é vendida separadamente e que custa 391 € + IVA. Portanto, o kit custa na totalidade 721 € + IVA.



Figura 2.9 - Kit de bicicleta eléctrica [6]

Por fim, apresenta-se um kit com um motor que tem uma potência inferior comparando com os dois kits mencionados anteriormente. Este kit é constituído de um motor, controlador, acelerador e Led display, Figura 2.10. O motor é dianteiro com uma potência de 250 W e 36 V, e o kit custa 235 € + IVA. A bateria vende-se em separado e custa 395 € + IVA. O preço total do kit completo é de 630 € + IVA.



Figura 2.10 - Kit de bicicleta eléctrica [6]

### 2.3. O Mercado das Bicicletas Eléctricas no Mundo

Existem 200 milhões de bicicletas eléctricas montadas hoje no mundo, estando a maioria na China. A China teve vendas anuais de cerca de 30 milhões de bicicletas ao longo de vários anos, mas cerca de 25 milhões são substituições de bicicletas desgastadas. Verifica-se um crescimento, mas tendo diminuído consideravelmente. No documento “The Electric Bike Worldwide Report” prevê-se que a indústria de bicicletas eléctricas esteja preparada para crescer para 2 bilhões até 2050. Eventualmente, 84 milhões de e-bikes poderiam ser vendidos a cada ano.

A China é o maior fabricante mundial de bicicletas e veículos eléctricos, com vendas de até 80 000 000 unidades, representando 80% do volume de negócios global.

Hoje, cerca de 700 empresas chinesas fabricam e-bikes. De acordo com a China Bicycle Association (CBA), as dez principais empresas de e-bike representaram 47% da produção total em 2014. Cerca de 1,3 milhões de bicicletas eléctricas foram exportadas para mais de 100 nações e regiões em 2016, disse Ma Zhongchao, diretor da Associação de Veículos Eléctricos da China [29]-[30]. No gráfico da Figura 2.11, mostra-se uma previsão de crescimento de venda de bicicletas eléctricas na China e no resto do mundo [29].

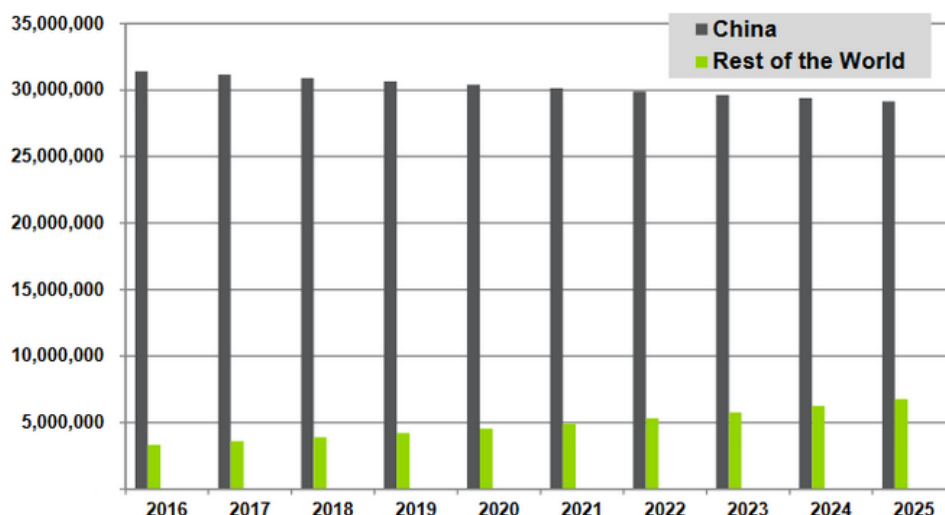


Figura 2.11 - Previsão de Venda de bicicletas eléctricas na China e no resto do Mundo [29]

Em termos percentuais, a Holanda é a maior utilizadora de bicicletas a nível mundial, com cerca de 40% de todo o seu tráfego sendo que, dos 40%, 10% são bicicletas eléctricas [17].

Apesar da elevada percentagem de bicicletas eléctricas no mundo, até então, o relatório prevê que as vendas de bicicletas eléctricas continuarão crescendo a uma taxa de cerca de 15% ao ano [30].

Existem ainda estudos que comprovam que a mobilidade eléctrica em duas rodas está em crescente expansão. De acordo com a associação da indústria de duas rodas na Alemanha (ZIV), as vendas na Alemanha aumentaram de 70 000, em 2007, para 200 000 unidades, em 2010, existindo previsões que apontam para crescimentos ímpares.

A nível europeu, o aumento das vendas foi ainda maior. Em 2007, aproximadamente 200 000 pessoas optaram por uma bicicleta eléctrica e, de acordo com a ZIV, em 2009 este valor atingiu os 500 000.

Em 2010, cerca de 700 000 bicicletas de propulsão eléctrica foram comercializadas em toda a Europa, com um aumento de 40%, comparando com o ano anterior [17].

## 2.4. Bicicleta Eléctrica em Portugal

Em 2015, Portugal era o terceiro maior produtor de bicicletas na Europa, divulgou a Associação Nacional das Indústrias de Duas Rodas [31]. Na última lista publicada em 2017, Portugal é o melhor país da União Europeia na exportação de bicicletas. Este dado é divulgado pelo Eurostat, que fez um balanço entre as importações e exportações de bicicletas na União Europeia. No âmbito dos 200 anos deste meio de transporte, que se assinala no dia 19 de Abril [32], escreve o Jornal de Negócios [33].

Em 2016, Portugal foi o maior exportador de bicicletas da EU, representando 15% das vendas para o estrangeiro entre os 29 Estados-membro.

Itália, com 14% e a Holanda, com 13% surgem atrás de Portugal neste *ranking* das exportações de bicicletas que, no decurso de 2016, foram de um total de 11 milhões de veículos [34].

Em termos de desenvolvimento de bicicletas eléctrica, Portugal lançou a UOU Bike que é o novo produto da UOU mobility.

Como o nome indica, trata-se de uma bicicleta eléctrica que combina funcionalidades smart com tecnologia de vanguarda e um design minimalista. Segundo a UOU Mobility, foi desenvolvida com o propósito de integrar redes de bike-sharing.

A ideia foi criar uma solução que facilite as deslocações pela cidade e as torne mais agradáveis, exprimindo o verdadeiro conceito de Mobilidade Inteligente, tendo sido concebida para ser capaz de se adequar a qualquer tipo de utilizador, beneficiando do facto do centro de gravidade ser baixo, permite uma maior adaptabilidade ao utilizador.

A bateria também faz parte da linguagem clara das formas da UOU Bike. Integra-se harmoniosamente no interior do quadro e destaca-se pela sua potência e eficiência. A UOU Bike foi projetada para ser leve com quadro em alumínio anti-corrosão, e reduzir ao máximo a necessidade de manutenção associada, e sem correntes.

Para a redução de manutenção e uma maior eficiência, a UOU Bike pôs de lado o sistema tradicional de corrente e apresenta um sistema de Shaft Drive inovador ligado ao cubo da roda traseira e ao motor eléctrico. O Shaft Drive é um sistema eficiente e bastante simples, o movimento é transmitido através do eixo do suporte inferior para a roda traseira graças ao acionamento do veio.

A UOU Bike é uma pedelec genuína, com um sistema integrado de apoio através da propulsão eléctrica. O inovador sensor de binário embutido no Sistema de Shaft Drive lê continuamente o esforço do condutor e aciona automaticamente o motor eléctrico auxiliar. O motor eléctrico de 250 W, embutido no cubo da roda traseira apoia a força muscular e substitui o pedalar duro

por um andamento sem esforço. O facto de ser embutido no cubo da roda traseira reduz a manutenção.

Finalmente, na questão de bateria e autonomia, a UOU Bike usa uma bateria de lítio embutida no interior do quadro que garante uma autonomia de pedalagem assistida de até 60 km, tendo ainda um sistema de gestão de carga inteligente e uma App mobile de monitorização de performance. A UOU Bike é uma bicicleta eléctrica criada em Aveiro-Portugal, que foi apresentada no dia 24 de Outubro de 2017 [35]. A seguir, na Figura 2.12, mostra-se a bicicleta eléctrica UOU Bike.



*Figura 2.12 - Bicicleta eléctrica UOU Bike [35]*

## **2.5. Seleção da Bicicleta Eléctrica**

Nesta secção, pretende-se justificar a escolha da bicicleta que foi seleccionada a fim de ser utilizada neste projeto, descrevendo alguns aspectos considerados sobre as EBs.

Após ter sido feita o estudo de forma generalizada sobre as bicicletas eléctricas em Portugal, e os kits existentes no mercado, efetuou-se uma análise aprofundada sobre a viabilidade económica das bicicletas já montadas desde a fábrica, e os kits que são comercializados em algumas lojas em Portugal, para posteriormente fazer uma adaptação numa bicicleta normal, e torná-la numa EB. Conclui-se que é preferível comprar uma bicicleta já montada, tendo em conta algumas razões que a seguir serão mencionadas.

Os preços das bicicletas montadas variam entre 1 150 e mais de 5 000 €, dependendo das características das mesmas. E os preços dos Kits variam entre 600 e 1 100€, desde o mais simples kit, até ao mais complexo. Portanto, é mais económico comprar uma bicicleta já montada do que um kit, porque não haverá necessidade de ter que se pagar a um técnico para montar a bicicleta quando a bicicleta feita na fábrica já vem com uma boa estética, enquanto que comprar um kit e posteriormente ter que adaptá-lo numa bicicleta normal, tira a estética da bicicleta.

O fator decisivo na escolha da bicicleta foi o preço, para que o projeto seja o mais economicamente viável. Tendo em conta o orçamento disponibilizado, fez-se a seleção da bicicleta a ser utilizada, levando em conta o estudo feito de forma geral dos diversos tipos de EBs existentes em Portugal que foram descritas anteriormente, e foi escolhida a bicicleta de marca Conor, modelo 6700, por possuir características que se adequam à nossa cidade, sendo a cidade bastante montanhosa e porque também o preço da bicicleta está dentro do orçamento disponibilizado. Existem duas formas de adquirir a bicicleta: pode ser pessoalmente numa das lojas da Ebike, ou na loja online ebike por 1 163,15 € + IVA, e este valor está em torno do nosso plano orçamental.

A Ebike, disponibiliza as bicicletas para os compradores no caso de testes para poder comprovar se realmente a bicicleta cumpre ou não com os requisitos desejados.

A bicicleta selecionada contém um motor traseiro, uma bateria de Lítio inserido na estrutura do quadro, e os restantes acessórios que permitem o controlo da bicicleta. A seguir ilustra-se, Figura 2.13, e descrevem-se as características da bicicleta selecionada.



*Figura 2.13 - Bicicleta eléctrica de marca Conor [25]*

Características e condições técnicas da bicicleta [25]:

**Características**

Motor Traseiro 500W 48V

Bateria Samsung 11.6Ah 48V

Display LCD

Acelerador Trottle (de dedo)

Sensor PAS Pedal Assist System

Tempo de Carga 4/5 horas

Autonomia 50/60 Km

**Condições Técnicas**

Quadro Alumínio 6061

Suspensão Zoom 525 com bloqueio manual

Rodas 27,5”  
Pneus AFX 27,5” X 2,10 SPORT  
Travões Shimano Disco M315  
Tipo de Travões Discos Hidráulicos  
Velocidades 7x3  
Pedais Plástico  
Peso (Kg) 23Kg

## **Conclusão**

Uma revisão à literatura permitiu conhecer o historial das bicicletas eléctricas, assim como saber de novas tecnologias empregues atualmente nas EBs. Constatou-se que as EBs têm estado a ganhar espaço no mercado, isto por causa do desenvolvimento de novas tecnologias que estão sendo utilizados neste tipo de veículo. Acompanhando a evolução das EBs, o surgimento das primeiras ideias ajudou nos estudos e desenvolvimento de novas tecnologias para a criação de EB com diversos tipos de modelos, permitindo assim, que estes possam estar em grande expansão pelo mundo.

As EBs têm ganho um espaço no mercado nos últimos anos, pelo seu tamanho reduzido, baixo preço, baixo consumo de energia, e por ser um meio de transporte ambientalmente amigável, comparados com os veículos de combustão interna.

Prevê-se um grande crescimento nas vendas de EB até 2050, visto que o grande desafio da humanidade é reduzir a utilização de veículos que são grandes inimigos do meio ambiente. A utilização das EB reduz consideravelmente a quantidade de emissão de gases poluentes na atmosfera, que têm estado a causar o aquecimento global no planeta.

Portugal tem sido um dos países da EU que tem aderido em massa à utilização das bicicletas (convencionais), e com o grande rumo para a substituição dessas bicicletas por EBs.

A EB facilita a locomoção em grandes cidades onde o tráfego é muito congestionado, e evita que o usuário chegue suado ao seu local de trabalho, escola, etc. A bicicleta selecionada cumpre com os requisitos do projeto, visto que se adequa à nossa cidade por ser montanhosa, e o preço da bicicleta está dentro do orçamento disponibilizado, tornando o projeto o mais economicamente viável.

Finalmente, constatou-se que a utilização de uma EB facilita o trajeto em grandes cidades onde o congestionamento é um grande problema, facilitando assim a deslocação de qualquer indivíduo sem ter de se preocupar com atrasos causados pelas viaturas no trânsito.

---

# **CAPÍTULO**

# **3**

---

**Conversores DC-DC**



## 3. Conversores DC-DC

### Introdução

Hoje, com o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, sistemas clínicos, veículos eléctricos, etc., a utilização de conversores DC-DC tem estado a desenvolver-se consideravelmente. Alguns equipamentos electrónicos são compostos por diversos circuitos, sendo que para cada circuito que compõe um equipamento electrónico, muitas vezes, é exigida a alimentação a uma tensão específica. Para isso, são utilizados dispositivos de conversão de energia, que podem converter um único nível de tensão noutros níveis [36]-[37]. Os conversores são elementos essenciais em qualquer projeto de electrónica em que seja necessário alterar o valor da corrente, tensão, ou frequência [38].

Os dispositivos electrónicos utilizados para conversão energética de uma fonte de tensão contínua de um nível para outro, denominam-se de conversores DC-DC. Refere-se uma classe de conversores de potência que utilizam comutação de sinal e armazenamento de energia através de elementos semicondutores e armazenadores (bobina ou condensador), respectivamente. Devido à característica de comutação, também são conhecidos como reguladores chaveados ou fontes chaveadas. A prática da conversão por comutação é conseguida através dos semicondutores de potência, especificamente transístores e díodos [37].

Nos veículos híbridos o conversor DC-DC tem como objetivo converter tensões elevadas provenientes da fonte de energia principal (230-300V) para tensões mais baixas (12-48 V) para alimentar circuitos electrónicos, ou para tensões ainda mais altas (400-600V) para alimentar circuitos eléctricos.

Os conversores DC-DC têm uma ampla gama de utilização. Estão presentes nas fontes de alimentação de diversos dispositivos e também são utilizados no controlo de motores eléctricos [38].

### 3.1. Controlo de Conversores DC-DC

Os conversores DC-DC têm como finalidade fornecer uma tensão de saída DC regulada [39]. A tensão DC média de saída deve ser controlada para igualar o nível desejado, ainda que a corrente da carga e a tensão de entrada variem. Os conversores DC-DC transformam um valor/nível DC noutro através de comutações. Um conversor DC-DC com uma determinada tensão de entrada, controla a tensão média de saída através da duração/tempo on e off das comutações (ton e toff respetivamente) [40].

Um dos métodos para controlar a tensão de saída intitulado de comutação através de modulação por largura de impulso PWM (Pulse Width Modulation), passa pela comutação a uma frequência constante [39]. Através desta técnica, a tensão de saída é controlada pelo tempo que é permitido ao semicondutor conduzir. Em termos práticos, o ajuste da largura do pulso da tensão de saída faz variar o valor médio da tensão de saída [41].

Existem diversas topologias de conversores DC-DC, e cada uma possui as suas especificidades, cabendo ao projetista determinar qual delas se adequa para a aplicação desejada.

### **3.2. Tipos de conversores DC-DC**

Existem dois grandes grupos específicos para classificar os conversores DC-DC. Cada uma possui características específicas, cabendo ao projetista determinar aquela que se aplica melhor no seu projeto [36]-[37].

- Não Isolados
- Isolados

Os conversores que não utilizam transformadores são chamados de não isolados, ao contrário dos isolados, que são os que utilizam transformadores [37].

#### **3.2.1. Conversor DC-DC Não Isolados**

Nos conversores DC-DC não isolados, existe uma variedade de topologias, mas apenas três delas são aplicáveis no estudo de conversores DC-DC modernos. A selecção de entre as topologias disponíveis baseia-se em algumas considerações tais como características de custo, desempenho e controlo, que são determinadas pelos requisitos da aplicação. Nenhuma topologia é melhor ou pior do que outra. Cada topologia possui vantagens e desvantagens e, portanto, a escolha é uma questão das necessidades do usuário e da aplicação do sistema [39]. Dentro dos conversores DC-DC não isolados, podemos destacar os três tipos de conversores DC-DC mais utilizados em tecnologia moderna dos conversores, como foi mencionado acima:

- Buck (step-down)
- Boost (step-up)
- Buck-boost (step-up/step-down)

##### **3.2.1.1. Conversor Buck (step-down)**

O conversor Buck é um conversor abaixador de tensão, caracterizado por ter entrada em tensão e saída em corrente. A Figura 3.1 ilustra o circuito eléctrico do conversor Buck [42].

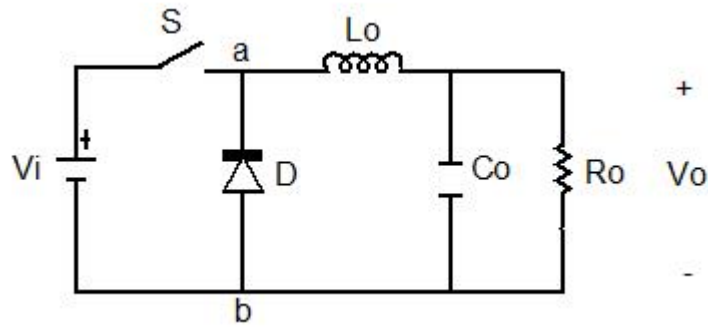


Figura 3.1 - Conversor Buck [21]

É descrito de seguida o funcionamento do conversor Buck [42]:

1º Caso: S está à condução/fechado, a corrente circula pela bobina  $L_o$  e para a saída. Neste caso, a tensão  $V_i$  fornece energia para a saída e para a magnetização da bobina  $L_o$ .

2º Caso: S não está à condução/aberto e o diódo D entra em condução. A energia da bobina é transferida para a carga, isto é, a bobina é desmagnetizada. A figura 3.2, apresenta a forma de onda da tensão  $V_{ab}$ .

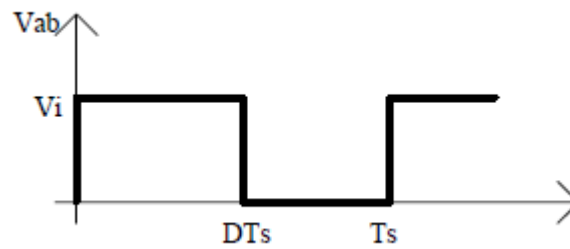


Figura 3.2 - Tensão  $V_{ab}$  [21]

Como a tensão média aos terminais da bobina deve ser nula, então:

$$V_o = V_{ab\_med} = \frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} V_i dt \quad \text{Equação 3.1}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = D$$

As principais características do conversor Buck são:

- Pode apenas diminuir a tensão na saída;
- A corrente de saída tem boa qualidade;
- A corrente na entrada é descontínua.

### 3.1.1.

### 3.2.1.2. Conversor Boost (step-up)

O conversor Boost possibilita a existência de uma tensão de saída maior do que a tensão de entrada. É uma classe de fonte de alimentação comutada contendo no mínimo dois semicondutores (um diodo e um transistor) e pelo menos um condensador, uma bobina ou uma combinação dos dois [43]. Em suma, o conversor Boost é um conversor elevador de tensão [42]. Ilustra-se na Figura 3.3 o circuito eléctrico do conversor Boost.

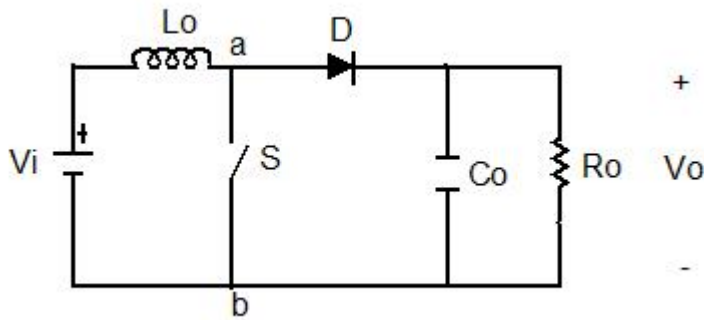


Figura 3.3 - Circuito Boost [42]

A seguir é descrito o funcionamento do conversor Boost [42]:

1º Caso: S está à condução/fechado, a bobina  $L_o$  é magnetizada, e a fonte  $V_i$  fornece energia somente para a bobina.

2º Caso: S não está à condução/aberto, o diodo D entra em condução. A fonte  $V_i$  e a bobina  $L_o$  fornecem energia à saída, e aumentam o valor da tensão na carga.

Na Figura 3.4 é mostrada a forma de onda da tensão aos terminais da bobina.

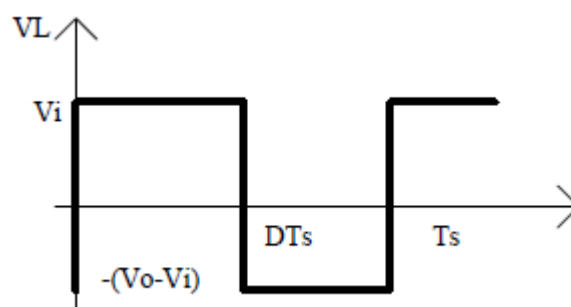


Figura 3.4- Tensão à bobina [42]

Como a tensão média aos terminais da bobina deve ser nula, então:

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} V_i dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{(1-D)T_s} (V_o - V_i) dt \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D}$$

As principais características do conversor Boost são:

- Pode apenas aumentar a tensão na saída;
- A corrente de saída é descontínua;
- A corrente na entrada tem boa qualidade.

### 3.2.1.3. Conversor Buck-Boost (step-up/step-down)

O conversor Buck-Boost converte uma tensão de entrada numa tensão de saída negativa regulada que pode ser maior ou menor que o valor absoluto da tensão de entrada [44]. O conversor Buck-Boost pode operar tanto como abaixador como elevador de tensão, por ser caracterizado por ter entrada em tensão e saída em tensão [42]. Na Figura 3.5 ilustra-se o esquema eléctrico do conversor Buck-Boost.

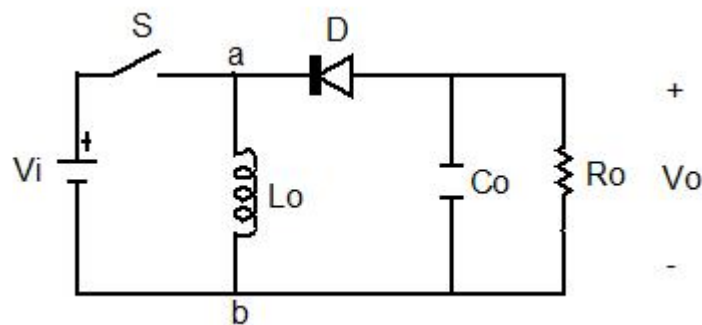


Figura 3.5 - Conversor Buck-Boost [42]

É descrito a seguir o funcionamento do conversor Buck-Boost [42]:

1º Caso: S está à condução/fechado, a fonte Vi fornece energia para a magnetização da bobina Lo.

2º Caso: S não está à condução/aberto, a energia da bobina Lo é transferida através do díodo D para a saída. A bobina Lo é desmagnetizada. Na Figura 3.6, é apresentada a forma de onda da tensão aos terminais da bobina.

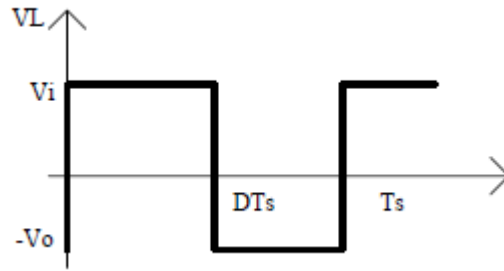


Figura 3.6 - Tensão aos terminais da bobina [17]

Como a tensão média sobre a bobina deve ser nula, então:

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} V_i dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{(1-D)T_s} V_o dt \quad \text{Equação 3.3}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D}{1-D}$$

As principais características do conversor Buck-Boost são:

- É um conversor à acumulação de energia;
- Pode operar como elevador ou abaixador;
- A corrente de saída é descontínua;
- A corrente na entrada é descontínua.

### 3.2.2. Conversor DC-DC Isolados

Na família de conversores DC-DC isolados, existe uma variedade de topologias, mas apenas três delas são aplicáveis à discussão de conversores DC-DC modernos. Nesta secção serão consideradas as topologias do conversor Flyback, Forward e Push-Pull. Nesses tipos de conversores isolados, a transferência de energia da entrada para a saída é realizada por meio de um transformador. Tal como acontece com a regulação dos conversores não isolados é realizada pelo controlador PWM, novamente para a monitorização da tensão de saída no circuito de feedback, mas através do estágio de isolamento. Os componentes ideais são novamente assumidos [44].

A outra diferença entre as topologias de conversor isolados baseadas em transformadores e as topologias não isoladas mencionadas anteriormente é que a função Buck, Boost ou Buck-Boost podem ser alcançadas com a relação de enrolamento do transformador, libertando assim o controlo PWM para operar no sentido de transferir mais ou menos energia de entrada para saída, apenas consoante a tensão de entrada e os requisitos da carga na saída.

A desvantagem de utilizar um transformador é que a transferência de energia do enrolamento primário para o enrolamento secundário envolve perdas adicionais. Entretanto, um conversor DC-DC não isolado pode atingir eficiência de conversão de 97%, enquanto que os conversores isolados atingem apenas 90% da sua eficiência máxima de conversão [44]. A seguir, serão descritas os três conversores DC-DC isolados mencionados acima.

### 3.2.2.1. Conversor Flyback (Buck-Boost isolado)

O conversor Flyback é uma versão isolada muito prática do conversor Buck-Boost. A bobina do conversor Buck-Boost é substituída por um transformador. Apresenta isolamento galvânico entre a tensão de entrada e a tensão de saída [45]. O circuito do conversor Flyback é apresentado na Figura 3.7.

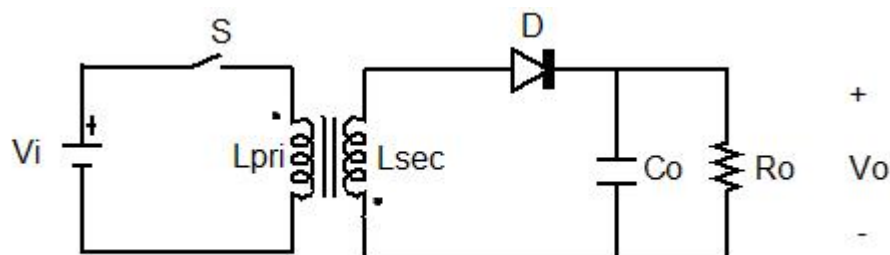


Figura 3.7 - Conversor Flyback [42]

A seguir é descrito o funcionamento do conversor Flyback [42].

1º Caso: S está à condução/fechado, a fonte  $V_i$  fornece energia para a magnetização do enrolamento primário do transformador. O diodo D não pode conduzir porque está inversamente polarizado.

2º Caso: S não está à condução/fechado, o enrolamento secundário inverte a polaridade, permitindo assim que do diodo D conduza e possibilite a transferência de energia para a saída. Mostra-se na Figura 3.8 a forma de onda da tensão no primário do transformador.

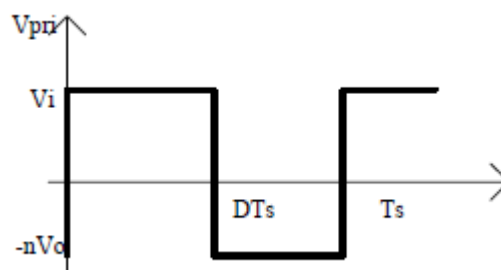


Figura 3.8 - Tensão no primário do Transformador [42]

Como a tensão média sobre enrolamento primário do transformador deve ser nula, então:

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} V_i dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{(1-D)T_s} nV_o dt \quad \text{Equação 3.4}$$

$$\frac{nV_o}{V_i} = \frac{D}{1-D}$$

Sendo que  $nV_o = V_o'$ , tem-se:

$$\frac{V_o'}{V_i} = \frac{D}{1-D}$$

As principais características do conversor Flyback são:

- É um conversor à acumulação de energia;
- A saída é isolada da entrada;
- Permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação;
- Possibilita usar várias saídas;
- Pode operar como elevador ou como abaixador;
- A corrente de saída é descontínua;
- A corrente na entrada é descontínua.

### 3.2.2.2. Conversor Forward (Buck isolado)

Embora o conversor Forward pareça semelhante à topologia Flyback, o seu funcionamento é completamente diferente. Digamos que o conversor Forward é um conversor idêntico ao conversor Buck, mas com isolamento galvânico, onde a tensão de entrada é convertida numa tensão de saída regulada, consoante a relação de transformação do transformador [44]-[42]. Apresenta-se na Figura 3.9 o circuito eléctrico do conversor Forward.

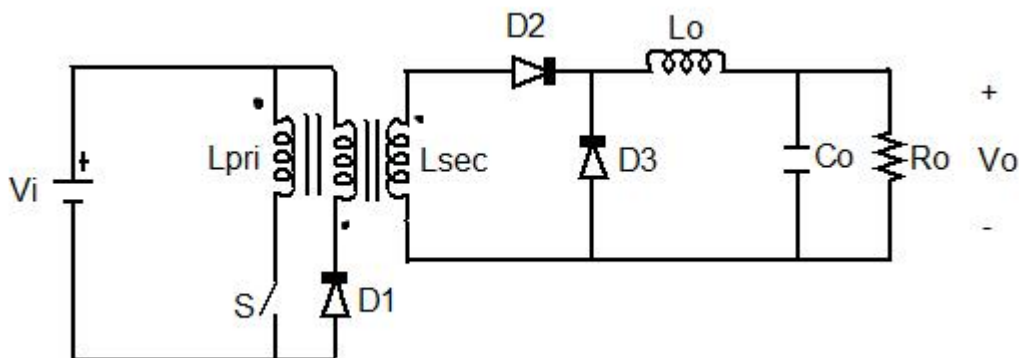


Figura 3.9 - Conversor Forward [42]

A seguir é descrito o funcionamento do conversor Forward [42].

1º Caso: S está à condução/fechado, a fonte  $V_i$  fornece energia à carga através do transformador. O diódo D2 conduz e D1 e D3 estão bloqueados.

2º Caso: S não está à condução/aberto, a polaridade é invertida através do enrolamento secundário, permitindo o diódo D3 conduzir a corrente para a carga. O transformador é desmagnetizado através do diódo D1, e a energia é devolvida à fonte  $V_i$ . Na Figura 3.10 ilustra-se a forma de onda da tensão na bobina.

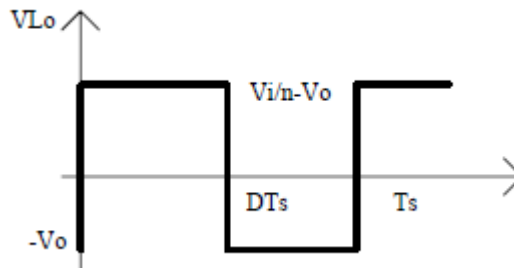


Figura 3.10 - Tensão na bobina

Como a tensão média aos terminais da bobina deve ser nula, então:

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} \left( \frac{V_i}{n} - V_o \right) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{(1-D)T_s} V_o dt \quad \text{Equação 3.5}$$

$$\frac{nV_o}{V_i} = D$$

Sendo que  $nV_o = V_o'$ , tem-se:

$$\frac{V_o'}{V_i} = D$$

As principais características do conversor Forward são:

- É um conversor de transferência directa de energia;
- A saída é isolada da entrada;
- Permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação;
- Possibilita usar várias saídas;
- Pode operar como abaixador, devido apenas à razão cíclica;
- A corrente de saída é de boa qualidade;
- A corrente na entrada é descontínua.

### 3.2.2.3. Conversor Push-Pull

O conversor Push-Pull converte uma tensão de entrada numa tensão de saída superior ou inferior, requerendo um transformador com enrolamento com partições para funcionar. Apresenta-se na Figura 3.11 o circuito simplificado do conversor Push-Pull [44].

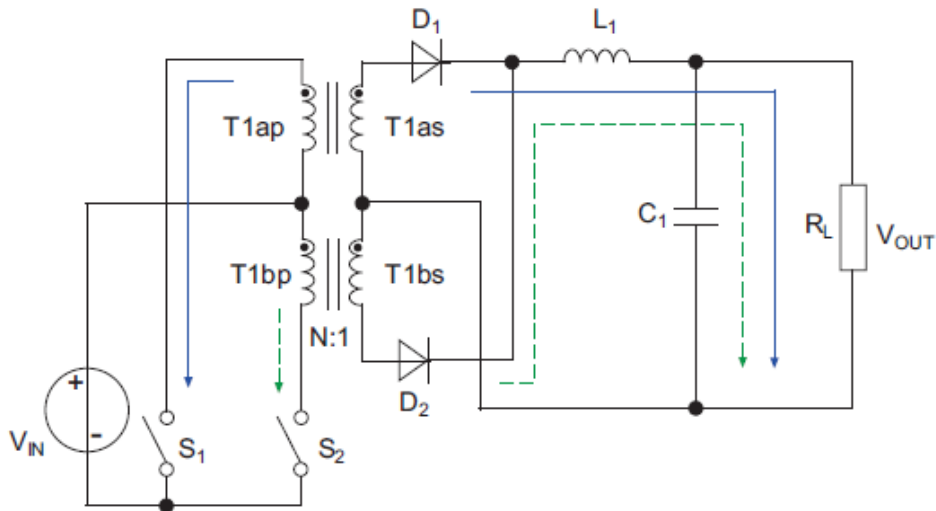


Figura 3.11 - Conversor Push-Pull [44]

Nesta topologia, para que não ocorra saturação do transformador, a condução dos transístores deve ser idêntica, garantindo que a tensão média aplicada ao primário seja nula [37]. A seguir é descrito o funcionamento do conversor Push-Pull:

1º Caso: S1 está à condução/fechado, a corrente circula através do enrolamento primário (T1ap) do transformador para o enrolamento secundário (T1as), e o D1 conduz a corrente para magnetizar a bobina, que fornece energia para a carga.

2º Caso: S1 sai da condução/aberto, ocorrendo uma inversão de polaridade, mas o diodo D1 bloqueia a tensão negativa no enrolamento secundário T1as. Entretanto, a corrente continua a fluir para L1 através do diodo D2 a partir do enrolamento secundário inverso T1bs.

3º Caso: S2 está à condução/fechado, recomeçando o ciclo novamente, mas com o enrolamento secundário T1bs a fornecer a corrente enquanto o S2 está fechado [44].

### 3.3. Conversores Bidirecionais

Recentemente, os conversores DC-DC bidirecionais ganharam muita popularidade por causa das suas aplicações em sistemas que armazenam energia, veículos eléctricos (EVs) e pequenas redes. Normalmente, os conversores bidirecionais estão ligados a dispositivos que armazenam energia, por exemplo, baterias e supercondensadores, cuja tensão geralmente varia numa ampla faixa durante a operação. Portanto, manter uma alta eficiência numa ampla faixa de tensão torna-se um desafio para os conversores bidirecionais [46]. Os conversores DC-DC

bidirecionais receberam muita atenção devido à gradual necessidade de existência de sistemas com a capacidade de transferir energia bidirecional entre dois pontos [47]. O sistema que transforma o valor de tensão DC de entrada num valor de tensão DC à sua saída, podendo ser inferior ou superior ao valor de tensão de entrada, é denominado de conversor DC-DC bidirecional. Este conversor permite o fluxo de potência da entrada para a saída, e vice-versa [48]. É representada na Figura 3.12 um esquema onde se enquadram muitas configurações dos conversores DC-DC bidirecionais existentes, caracterizado por uma corrente e uma tensão tanto na entrada como na saída [48].

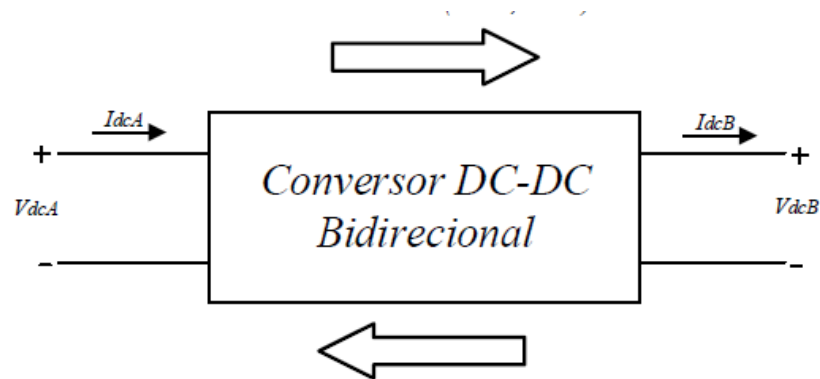


Figura 3.12 - Configuração geral do conversor DC-DC bidirecional [48]

A presença de díodos colocados em antiparalelo com os interruptores semicondutores controlados (MOSFET's, IGBT's, etc) é uma das principais características destes conversores. Estes semicondutores controlados permitem a circulação de corrente no sentido contrário, relativamente ao semicondutor principal que é controlado. Existem diversas configurações dos conversores bidirecionais, tais como a configuração monofásica, em meia-ponte ou em ponte, e a configuração trifásica. É usado apenas um braço no conversor de meia ponte com interruptores semicondutores, enquanto que nas pontes monofásica e trifásica são utilizados 2 e 3 braços, respetivamente.

Devido à crescente necessidade de várias aplicações tecnológicas, que necessitam de transferência de energia entre dois barramentos DC com níveis de tensão diferentes, têm sido muito utilizados os conversores DC-DC bidirecionais nos últimos anos para poder acudir a essas necessidades. Estes conversores são utilizados em EVs, veículos eléctricos híbridos (HEV), nos sistemas de armazenamento de energia em sistemas PVs, em acionamentos de motores DC, em fontes de alimentação ininterruptas (UPS) e em satélites [48].

Os conversores DC-DC bidirecionais dividem-se em dois (2) grupos, que são [49]:

- Isolados
- Não isolados.

Os conversores DC -DC bidirecionais não-isolados são os mais simples na sua construção, a nível de seus componentes e podem ter uma ótima eficiência. Porém, nalgumas aplicações e devido

a algumas exigências normativas é fundamental garantir o isolamento galvânico. A maior complexidade do conversor DC-DC bidirecional isolado consiste no facto de possuir um transformador de média/alta frequência na sua configuração, necessitando de pelo menos dois conversores bidirecionais na sua configuração (inversor ou retificador ativo) para garantir um fluxo de potência AC no transformador [48].

### 3.3.1. Conversores DC-DC Bidirecionais não-Isolados

Os fatores mais importantes na escolha de um conversor DC-DC bidirecional reside no tamanho, peso e custo. Os conversores DC-DC bidirecionais não-isolados em muitos casos têm sido a escolha, pois dispensam o uso de transformador na sua construção [48].

De um modo geral, os conversores DC-DC bidirecionais não-isolados básicos são derivados dos conversores DC-DC unidirecionais do tipo Buck e Boost e das suas variações. Por possuírem na sua estrutura um diodo não têm capacidade de conduzir a energia nos dois sentidos, já que o diodo só conduz num único sentido [47].

Portanto, nos conversores DC-DC bidirecionais não isolados básicos, o diodo é substituído por um semiconductor controlado, pois este tem a capacidade de entrar em condução ou corte mediante a ordem de um sinal externo de comando, e o diodo é colocado em antiparalelo [47]. O duty-cycle ou razão de tensão (D) é a percentagem do período do sinal de comando dos semicondutores controlados quando este está à condução (ton), ou seja, é a percentagem do período do sinal de comando em que o semiconductor está em condução. Todavia, pode-se definir pela seguinte equação [48]:

$$D = \frac{V_{dcB}}{V_{dcA}} = \frac{T_{ON}}{T_s} \quad \text{Equação 3.6}$$

O  $V_{dcB}$  e  $V_{dcA}$  representam as tensões do conversor nos lados de baixa e alta tensão, respetivamente.  $T_s$  é o período do sinal de comando dos semicondutores controlados, e  $T_{ON}$  tempo em que o semiconductor está em modo de condução. A Figura 3.13 apresenta o circuito eléctrico de um conversor DC/DC bidirecional não isolado básico [48].

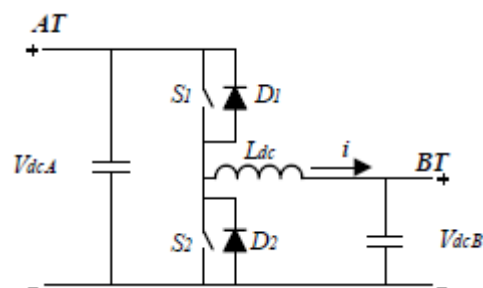


Figura 3.13 - Conversor DC-DC bidirecional não-isolado básico [48]

A seguir apresenta-se o funcionamento do conversor DC-DC bidirecional não isolado básico [48].  
1º Caso: S1 está à condução/fechado, a energia é transferida do lado de alta tensão (AT) para o lado de baixa tensão (BT), e neste momento o conversor funciona no modo Buck, estando o S2 desligado/aberto.

2º Caso: S2 está à condução/fechado, a energia é transferida do lado de BT para o lado de AT, e o conversor funciona no modo Boost. O S1 está desligado/aberto. A bobina LDC tem a função de garantir que o ripple da corrente seja o menor possível.

Este conversor DC-DC bidirecional pode operar apenas no modo Buck num sentido e no modo Boost no outro, sendo esta a grande limitação deste conversor [48].

### 3.3.2. Conversores DC-DC Bidirecionais Isolados

O isolamento galvânico entre sistemas multi-fonte é um requisito exigido por muitas normas. A segurança do pessoal, a redução do ruído e o funcionamento correcto dos sistemas de proteção são os principais motivos da exigência do isolamento galvânico [47].

A estrutura dos conversores DC-DC bidirecionais é composta por dois conversores DC/AC de alta frequência e um transformador usado para manter o isolamento galvânico entre os dois barramentos DC. A relação de transformação do transformador é escolhida através da tensão dos barramentos DC.

Os conversores DC-AC têm de ter a capacidade de transferir a energia bidirecional pelo facto do conversor DC-DC exigir a transferência de energia em ambos os sentidos, Figura 3.14.

Os conversores DC-DC bidirecionais isolados podem possuir várias topologias como por exemplo: Meia Ponte, Ponte Completa, Push-Pool e outras configurações [48].

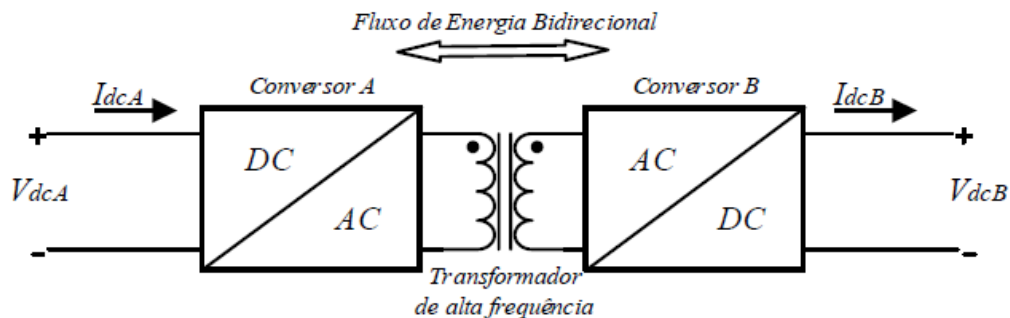


Figura 3.14 - Esquema geral de conversor DC/DC bidirecional isolado [48]

A utilização de um transformador de alta frequência provoca muitas perdas e implica um custo adicional ao sistema [48].

A vantagem principal dos conversores DC-DC bidirecionais isolados em relação aos não-isolados reside no facto de os isolados possuírem o isolamento galvânico, que é um requisito obrigatório em muitas aplicações, porque garante maior segurança, reduz consideravelmente o ruído e permite o funcionamento correto dos sistemas de proteção [47].

Os conversores DC-DC bidirecionais isolados têm maior complexidade do que os não-isolados, e a complexidade tende a ser ainda maior quando se utilizam técnicas de comutação suave nos semicondutores controlados.

A configuração em ponte completa, que também é conhecida por Dual Active Bridge (DAB), é uma das topologias de conversores DC-DC bidirecionais isolados mais utilizadas em EVs [20]. Esta topologia apresenta-se na Figura 3.15 [19], este conversor é utilizado em aplicações para EVs, aplicações de sistemas de armazenamento de energia que exigem fluxo de energia bidirecional e tem uma complexidade mais elevada ao nível do comando dos semicondutores controlados, devido à existência de quatro semicondutores em cada um dos lados do transformador. Têm sido desenvolvidos topologias em meia ponte com o objetivo de reduzir o número de componentes, diminuindo as perdas, devido aos desequilíbrios de tensão que surgem nos condensadores, sendo necessário um controlo adicional para resolver esse problema. Normalmente quando se trata de altas potências, o conversor DAB é a melhor escolha, embora tenha maior complexidade na sua configuração, maior tamanho e um custo maior [48].

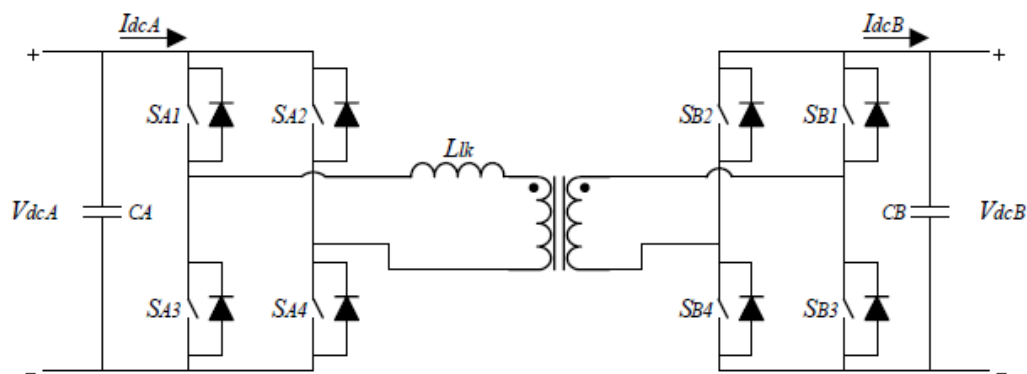


Figura 3.15 - Esquema elétrico de conversor DC-DC bidirecional com configuração em Ponte Completa [48].

Os dois conversores DC/AC têm a capacidade de gerar uma forma de onda de tensão com um valor de pico muito próximo da tensão DC ( $V_{dcA}$  e  $V_{dcB}$ ) e apresentam um rendimento que é independente da direção do fluxo de potência [47].

A indutância de fugas do transformador ( $L_{lk}$ ) é a principal grandeza responsável pelo armazenamento e transferência de energia. Adiciona-se uma bobina auxiliar ligada em série ( $L_{aux}$ ) quando o valor de  $L_{lk}$  é insuficiente para a máxima transferência de potência no conversor. As limitações em controlo de soft-switching para determinadas cargas é a grande desvantagem deste tipo de conversor DC-DC [48]. Também como uma desvantagem destes conversores, está o facto do circuito de comando dos semicondutores ter uma dimensão superior às das outras configurações, devido a um número maior de semicondutores controlados [47].

## Conclusão

Com o desenvolvimento das tecnologias dos conversores, a utilização dos conversores DC-DC tem sido muito frequente em sistemas industriais, tais como: fontes de energia renováveis, sistemas clínicos, veículos eléctricos, etc. Além disso, os conversores DC-DC têm uma ampla gama de utilização nas fontes de alimentação de diversos dispositivos electrónicos.

O método PWM é bastante importante para controlar a tensão de saída, visto que este método permite controlar o tempo que é permitido ao semiconductor conduzir, e não só, fazendo também variar o valor médio da tensão de saída.

Quanto ao conversor DC-DC a utilizar, o conversor Buck-Boost é a opção mais indicada, pois, este pode operar tanto em modo abaixador como em modo elevador de tensão. As razões da utilização deste conversor, reside na questão de não necessitar de isolamento galvânico, sabendo que os conversores com isolamento galvânico têm muitas perdas. O peso, tamanho, custo e eficiência de conversão de energia foram os requisitos que se teve em conta na seleção deste conversor. A vantagem do conversor Buck-Boost está na simplificação do circuito, que é menos complexo em comparação com conversores isolados, e é muito mais barato, porque a utilização do transformador encarece o sistema.



---

# CAPÍTULO

# 4

---

## Sistema de Carregamento de Veículos Eléctricos



## 4. Sistema de Carregamento de Veículos Eléctricos

### Introdução

O posto de carregamento de EV é uma estação onde é feito o reabastecimento as baterias dos veículos. Uma estação de carregamento é um local físico onde as baterias podem ser recarregadas para poder continuar a alimentar o motor do veículo. Este local é caracterizado pela presença de elementos electrónicos que convertem a energia para carregar as baterias quando esgotadas ou perto do esgotamento, e é igualmente o espaço de estacionamento para efetuar o carregamento dos veículos.

As estações de carregamento podem acomodar vários veículos e podem destinar-se ao público em geral ou a utilizadores privados. No caso do carregamento propriamente dito, a estação compreende duas componentes principais: a interface com o utilizador e a ficha que liga a bateria do veículo à tomada.

Os padrões de carregamento e infraestruturas para esse fim, e que estejam disponíveis, têm um grande impacto na maneira como as pessoas utilizam, ou possam vir a utilizar, os veículos eléctricos.

Os sistemas de carregamento de EV são compostos por dois elementos principais: o próprio veículo e o equipamento necessário para ligação à rede e que fornece energia para o veículo. Uma vez que os EVs têm baixa densidade de energia, comparativamente com os convencionais veículos a combustão interna, muitos desses veículos têm um campo de ação mais pequeno, o que dificulta a sua adoção pelo mercado a grande escala. Por isso, a redução do tempo de carregamento e a fácil acessibilidade a infraestruturas de carregamento devem ser objetivos a alcançar.

Com o surgimento de novas tecnologias como a mobilidades eléctrica e as infraestruturas de suporte, é necessário estabelecer alguns conceitos relativos à área em que estes se aplicam [7].

Existe uma variedade de topologias de sistemas de carregamento de EVs, e a seguir serão apresentadas algumas dessas topologias.

### 4.1. Topologias de Sistemas de Carregamento das Bicicletas Eléctricas

Existem várias topologias de sistemas de carregamento dos EVs, dentre elas, serão apresentadas oito (8) que foram estudadas neste projeto.

- Rede Eléctrica - Bicicleta
- Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Bicicleta
- Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta
- Módulos PVs - Conversores DC/DC - Bicicleta
- Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta

- Módulos PVs - Conversores DC/DC - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta
- Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta
- Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica

#### 4.1.1. Rede Eléctrica-Bicicleta

É o mais simples dos sistemas de carregamentos, comparado com muitos tipos de sistemas de carregamentos que existem. Entretanto, neste sistema, obtém-se a energia da rede eléctrica para poder carregar os EVs. O componente electrónico que converte a energia de AC para DC está incorporado na parte interna do EV, uma vez que, as baterias são dispositivos que apenas funcionam em DC. A Figura 4.1 apresenta o esquema eléctrico do sistema mencionado.

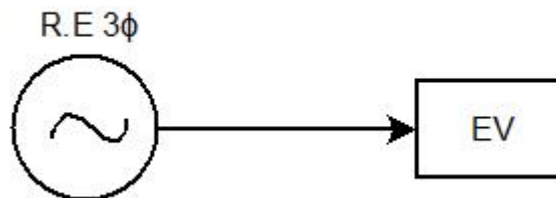


Figura 4.1 - Sistema de Carregamento Rede Eléctrica-Bicicleta

#### 4.1.2. Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Bicicleta

Neste sistema, o EV recebe a energia através da rede eléctrica, mas ela sofre conversão, por intermédio dos dispositivos electrónicos de conversão de energia. O conversor AC/DC tem a função de converter a energia em DC para poder transmitir energia aos conversores DC/DC uma vez que, a rede eléctrica apenas fornece a energia em AC. Posteriormente, os conversores DC/DC alimentam a bateria do EV, e controlam também o nível de tensão a fornecer para posterior funcionamento do motor eléctrico do veículo. O esquema eléctrico do sistema de carregamento ilustra-se na Figura 4.2.

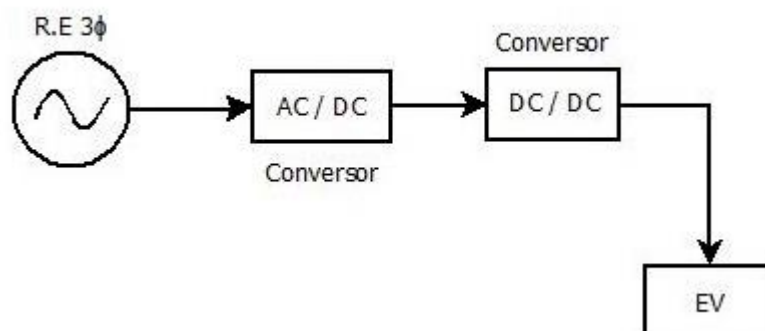


Figura 4.2 - Sistema de Carregamento Rede Eléctrica-Conversores-Bicicleta

#### 4.1.3. Rede Eléctrica - Conversor AC/DC - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta

Este sistema de carregamento é semelhante ao sistema mencionado anteriormente, mas com uma particularidade de possuir dispositivos de armazenamento de energia (baterias).

Neste sistema, as baterias têm a função de armazenar a energia fornecida da rede eléctrica e, em seguida, alimentar os EVs, de maneira a poupar o consumo de energia da rede eléctrica. Ou seja, os EVs deixam de depender somente da rede eléctrica, e passam a ser abastecidos também através da energia armazenada no banco de baterias. Mas as baterias carregam e descarregam a sua energia através dos conversores DC/DC bidireccionais.

Ilustra-se a seguir, na Figura 4.3, o esquema eléctrico do sistema de carregamento aqui mencionado.

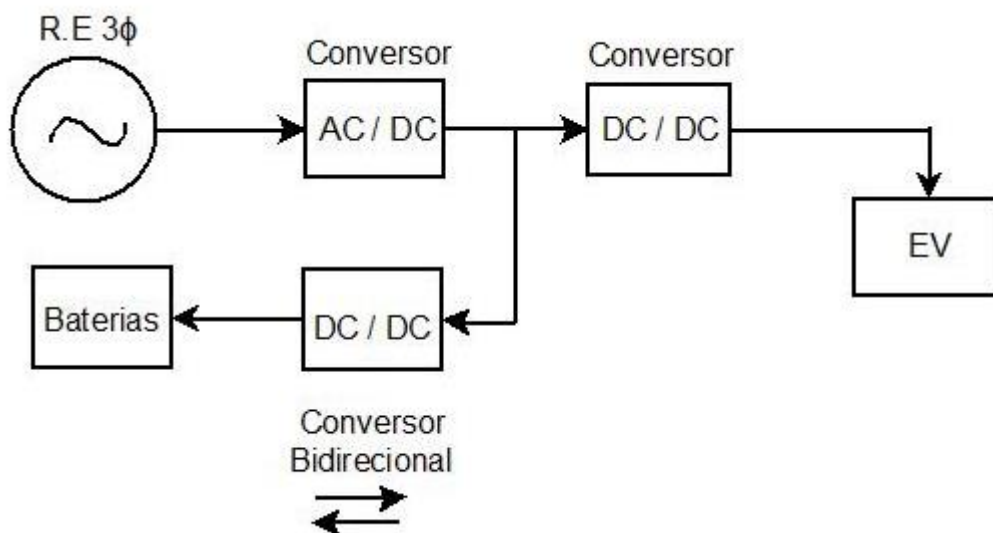


Figura 4.3 - Sistema de carregamento Rede Eléctrica - Conversores DC/DC - Baterias-Bicicleta

#### 4.1.4. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Bicicleta

Neste sistema, os módulos fotovoltaicos produzem a energia a fornecer aos conversores. Por sua vez, os conversores alimentam as baterias dos EVs, tendo em conta o nível de tensão desejada para carregar as baterias. Apresenta-se na Figura 4.4 o esquema eléctrico do sistema de carregamento.

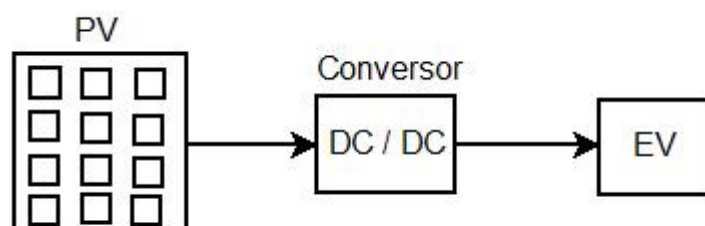


Figura 4.4 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Bicicleta

#### 4.1.5. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta

Para este sistema, a energia é fornecida através do sistema de geração PV, que transmitem energia para os conversores, e os conversores convertem o nível de tensão desejado para poder carregar as baterias dos EVs e também de alimentar aos conversores bidirecionais para fornecerem energia para o armazenamento. Posteriormente, o sistema de armazenamento pode fornecer energia à carga quando os módulos PVs produzem energia insuficiente para poder satisfazer a carga. Isto acontece quando há pouca irradiação solar nos módulos PVs. Apresenta-se na Figura 4.5 o esquema eléctrico deste sistema de carregamento.

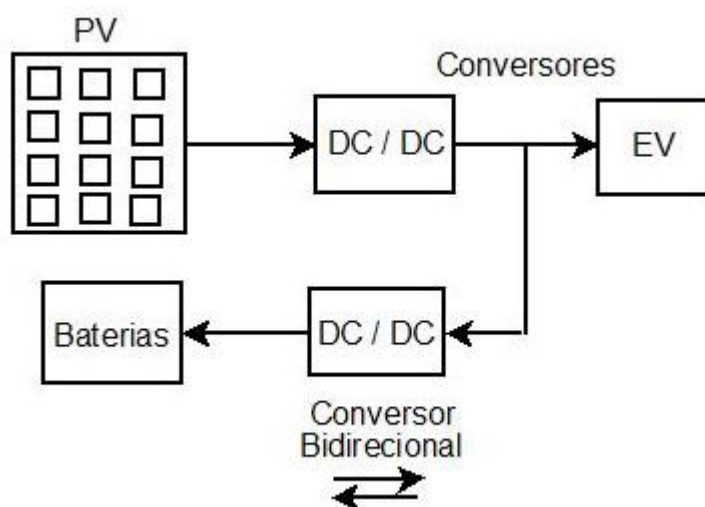


Figura 4.5 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta

#### 4.1.6. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Conversor DC/DC - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica

Neste sistema, a energia eléctrica é produzida através dos módulos PVs em DC, e é transmitida para os conversores, que são responsáveis por fornecer a energia para os inversores, tanto para as baterias, a fim de fazer o armazenamento de energia. O inversor tem a função de converter a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos em DC, para AC de maneira a ajustar a energia e injetar para à rede eléctrica. As baterias responsabilizam-se pelo armazenamento de energia em DC, para depois descarregar essa energia armazenada através do conversor DC para poder alimentar o EV quando houver pouca produção de energia através dos módulos PVs.

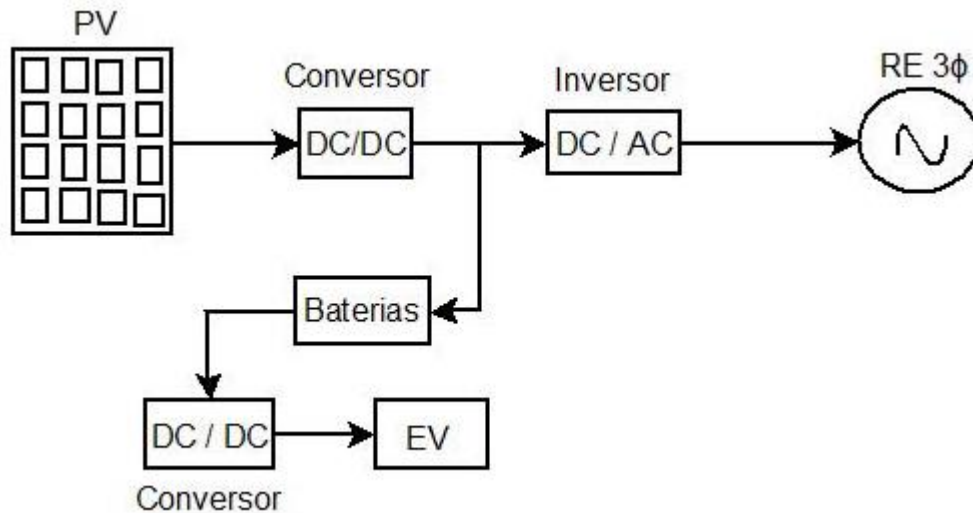


Figura 4.6 - Sistema de carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica

#### 4.1.7. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta

Este sistema é mais complexo, uma vez que, neste se utiliza um transformador eléctrico. Entretanto, a energia é gerada através dos módulos PVs, e estes, fornecem energia para os conversores DC/DC, que são os responsáveis pelo controlo de energia que será fornecida para os conversores DC/AC para poder alimentar o transformador, sendo o transformador uma máquina eléctrica que apenas funciona em AC. O transformador é responsável por estabelecer o nível de tensão que possa ser injetada na rede eléctrica. Esta energia, além de ser injetada na rede, é também retirada para poder alimentar os conversores AC/DC que fornecem energia para os conversores DC/DC, que por sua vez controlam a tensão desejada na saída com o objetivo de alimentar o EV. Na Figura 4.7 apresenta-se o esquema eléctrico do sistema de carregamento.

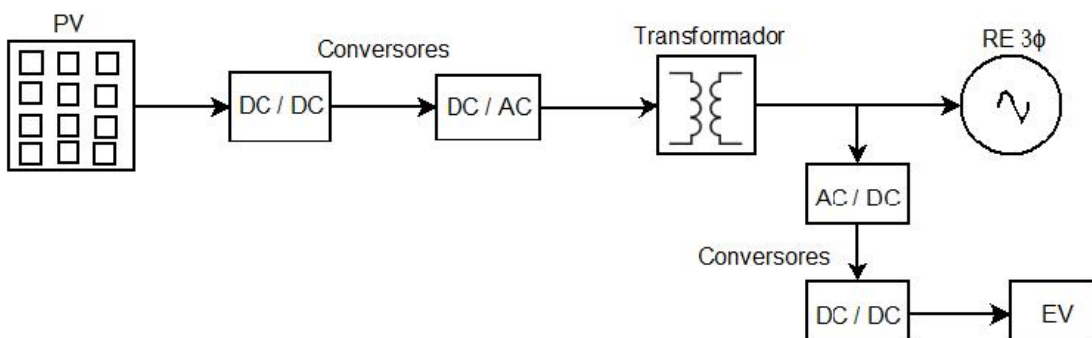


Figura 4.7 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Conversores DC/AC-Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Conversores DC/DC - Bicicleta

#### 4.1.8. Módulos PVs - Conversores DC/DC - Baterias - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta

Este sistema é semelhante ao sistema apresentado anteriormente, mas com a particularidade de incluir dispositivos para armazenem da energia produzidas através dos módulos PV. Os módulos PVs geram energia para poder fornecer aos conversores DC/DC que transferem essa energia para os conversores AC/DC para alimentar o transformador. Uma parte da energia é entregue aos conversores DC/DC bidirecionais, que são responsáveis por carregar o banco de baterias quando esta estiver a armazenar energia, e por descarregar quando esta estiver a fornecer energia à carga. A utilização dos dispositivos de armazenamento de energia torna-se necessário para atender à demanda em períodos nos quais a geração é quase nula ou insuficiente (à noite, em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de irradiação solar, os módulos PVs reduzem a quantidade de energia produzida), não sendo possível suprir as necessidades da carga. A bateria do sistema serve para poder cobrir a necessidade energética da carga.

Na Figura 4.8 ilustra-se o esquema eléctrico do sistema de carregamento mencionado.

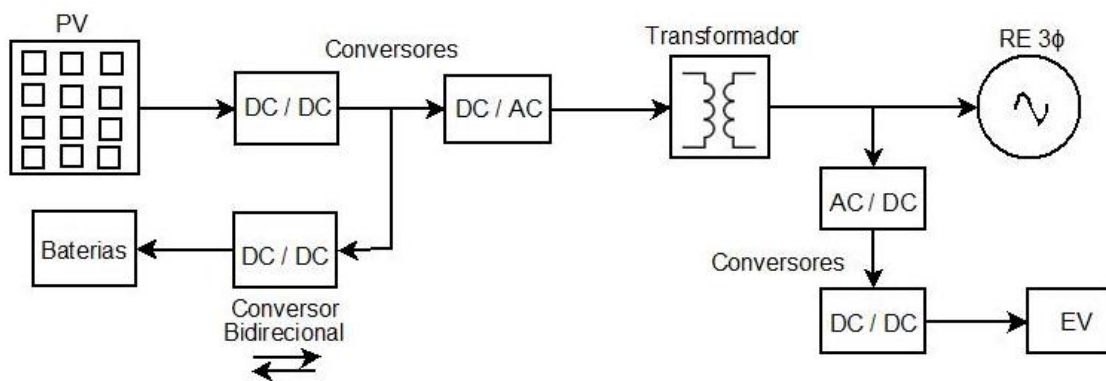


Figura 4.8 - Sistema de Carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Conversores DC/AC - Transformador - Rede Eléctrica - Conversores AC/DC - Bicicleta

#### 4.2. Comparação dos Sistemas de Carregamentos

Apresentaram-se alguns sistemas de carregamento de EVs, tendo cada sistema as suas especificações e limitações. Não existe um sistema de carregamento melhor do que outro, apenas dependendo do projetista a sua seleção, e dependendo da adequação ao seu projeto. É só de salientar que, quanto menor é a complexidade do sistema, mais barato é o projeto, e vice-versa. Para este projeto, um dos requisitos que se teve em consideração foi o custo económico do sistema. Os sistemas de carregamento com utilização dos transformadores eléctricos são mais caros, pois sabe-se que o transformador é uma máquina eléctrica muito cara.

## **Conclusão**

É fundamental um bom dimensionamento dos postos de carregamento para EVs, porque eles são os responsáveis pelo reabastecimento das baterias dos veículos. É necessário haver um local físico onde as baterias possam ser recarregadas quando estas estejam esgotadas ou perto do esgotamento. Com o desenvolvimento da tecnologia dos conversores DC/DC tornou-se possível a criação e a implementação dos postos de carregamento para EVs, assim como o carregamento das baterias.

Foram apresentadas as especificações e limitações dos diversos sistemas de carregamento de EVs. Posteriormente, foram analisados os parâmetros de cada sistema, com especial atenção para o estudo do custo de implementação do projeto, uma vez que, quanto maior é a complexidade do sistema, mais caro é projeto.



---

# **CAPÍTULO**

# **5**

---

## **Baterias**



# 5. Baterias

## Introdução

As baterias foram uma descoberta muito importante, na medida em que não é necessária uma ligação direta à rede de distribuição de electricidade para operar dispositivos eléctricos e electrónicos.

São fontes de energia e fazem a sua distribuição de forma segura, quando são usadas adequadamente. Ao mesmo tempo, é primordial escolher o sistema correcto em combinação com o carregamento, descarregamento e armazenamento adequados, de forma a assegurar a sua óptima operação, com fiabilidade e segurança. Há situações em que as baterias poderão descarregar, sofrer ruturas ou até explodir devido ao seu defeituoso manuseamento. Para evitar tais situações, a bateria deve incluir dispositivos de protecção [7].

O conjunto de células ou vasos eletroquímicos, ligados em série e/ou em paralelo, capazes de armazenar energia eléctrica na forma de energia química mediante um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior, é denominado bateria. Quando uma bateria carregada é ligada a uma carga eléctrica, ocorre o processo inverso, ou seja, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia eléctrica [50].

A imposição de operar ferramentas e dispositivos alimentados a energia eléctrica, de forma independente de fontes de alimentação estacionárias, tem levado ao desenvolvimento de uma grande variedade de baterias, com características preferenciais para cada campo de aplicação [7].

## 5.1. Tipos de Células

As baterias podem ser classificadas, dependendo do tipo de célula que as compõem, em:

- Células Primárias (não recarregáveis)
- Células Secundárias (recarregáveis).

### 5.1.1. Células Primárias

As células primárias, ou não recarregáveis, compõem as baterias que são utilizadas apenas uma vez, ou seja, as baterias que não se podem carregar. Quando as células primárias se descarregam completamente, sua vida útil termina e elas devem ser descartadas. As baterias não recarregáveis são geralmente utilizadas como fontes de energia de baixa potência, em aplicações tais como relógios de pulso, calculadoras e muitos outros aparelhos portáteis. É possível encontrar baterias compostas por células primárias que admitem recargas leves, aumentando sua vida útil [50].

### 5.1.2. Células Secundárias

As células secundárias, ou recarregáveis, são células que compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que são carregadas com ajuda de uma fonte de tensão ou corrente, e reutilizadas várias vezes. São comumente chamadas de “acumuladores” ou “baterias de armazenamento” e são úteis na maioria das aplicações por períodos longos, como por exemplo, em sistemas fotovoltaicos [50]. A seguir apresentam-se os tipos de baterias.

### 5.2. Tipos de Baterias

Existem diversos tipos de baterias, mas na discussão deste trabalho serão abordados apenas os tipos de baterias mais utilizados. Dentre eles podemos encontrar [51]:

- Baterias Chumbo-Ácido (Pb-acid);
- Baterias de Níquel Cádmio (NiCd);
- Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel (NiMH);
- Baterias de Iões de Lítio (Li-íon);
- Baterias Polímero de Lítio (Li-poly).

A Tabela 5.1 mostra algumas características das tecnologias com armazenamento electroquímico.

*Tabela 5.1 - Características de armazenamento das baterias [43]*

	Chumbo-Ácido	Níquel cádmio	Hidretos Metálicos de Níquel	Iões de Lítio	Polímero de Lítio
Tensão por Célula (V)	2	1,2	1,2	3,6	2,5
Densidade de Potência (W/l)	60	60	320	2900	642

Na Tabela 5.1 pode-se verificar que as baterias de Iões de lítio são as que apresentam maior potencial face às funções atualmente exigidas aos acumuladores de energia. Entretanto, o seu elevado custo relativamente às outras tecnologias faz que sejam usadas em aplicações específicas [51].

### 5.2.1. Baterias de Chumbo- Ácido (Pb-acid)

A bateria de Pb-acid é a bateria recarregável mais antiga, utilizada nos setores doméstico e industrial desde os meados dos anos 1800. Nas baterias desta topologia, os elétrodos positivos e negativos são compostos separadamente de dióxido de chumbo e chumbo metálico, que são imersos num eletrólito de ácido sulfúrico diluído [52]. Em sistemas fotovoltaicos nomeadamente, as baterias de chumbo-ácido são as mais empregues, devido ao seu baixo custo e desempenho eficiente [53].

Nestas baterias, o processo de carga deve ser realizado com correntes eléctricas baixas, o que prolonga o tempo de carga da bateria. Deve-se evitar a ocorrência de sobrecargas durante o processo de carga, para atenuar a sua sensibilidade às sobrecargas de corrente.

As baterias de chumbo-ácido não devem ser totalmente descarregadas visto que uma descarga total pode impossibilitar a recarga da bateria, ou pelo menos, diminuir a capacidade de carga. Estas baterias são sensíveis a variações da temperatura de funcionamento, isto é, as baixas temperaturas diminuem a sua capacidade, mas aumentam o tempo de vida útil e vice-versa [53].

Existem dois tipos de baterias de chumbo-ácido, nomeadamente [52]: as baterias ventiladas ou abertas (VLA) e baterias estanques ou reguladas por válvulas (VLRA)

#### **As baterias ventiladas ou abertas (VLA):**

Nas baterias VLA o eletrólito está sob o formato de uma solução aquosa sendo necessário o seu funcionamento numa posição vertical para evitar o derrame do eletrólito. Estas baterias necessitam de manutenção, e requerem a reposição periódica do nível de água visto que durante o funcionamento da bateria, principalmente em estado de sobrecarga, se dá a eletrólise da água que faz o oxigénio e o hidrogénio sejam libertados sob o estado gasoso [53].

#### **As baterias estanques ou reguladas por válvulas (VLRA):**

As baterias VLRA são seladas, possuindo, no entanto, válvulas que permitem a saída de gases quando a pressão no interior da bateria atinge níveis perigosos. De uma maneira geral, as baterias VLRA apresentam, face às VLA, a vantagem de permitirem a recombinação dos gases, reduzindo as perdas de água, o que faz que estas necessitam de menor manutenção.

Dentro deste tipo de baterias são distinguidas duas tecnologias diferentes [53]:

- Baterias com separador de microfibras de vidro, conhecidas por baterias de AGM. Este separador absorve o eletrólito o que evita que este se desloque livremente no interior da bateria.
- Baterias de gel na qual o eletrólito se encontra misturado com sílica, conferindo a consistência de um gel, mantendo o eletrólito imóvel no interior da bateria[53][53][53]. As vantagens e desvantagens destas baterias são descritas a seguir.

### Vantagens

- Permite taxas elevadas de descarga;
- Baixo custo e simples de fabricar, em termos de custo por densidade de energia, a bateria de VLRA é a menos cara;
- Baixa taxa de auto-descarga, esta bateria está entre as mais baixas das baterias recarregáveis;
- Tecnologia madura e confiável, quando usada corretamente, a bateria de VLRA é durável e fornece um serviço confiável.

### Desvantagens

- Não podem ser armazenadas quando descarregadas;
- Baixa densidade de energia;
- Permite um número limitado de ciclos de descarga completos, adequado para aplicações que exigem descargas profundas ocasionais;
- Prejudicial ao meio ambiente, o eletrólito e o teor de chumbo podem causar danos ambientais significativos;
- Restrições de transporte, existem preocupações ambientais sobre o derrame do eletrólito em caso de acidente [53].

Na Figura 5.1 apresenta-se uma bateria de chumbo-ácido.



Figura 5.1 - Bateria de Chumbo-Ácido [15]

### 5.2.2. Baterias de Níquel-Cádmio (NiCd)

As baterias de NiCd está constituído por um ânodo de hidróxido de níquel, um cátodo de cádmio e um eletrólito alcalino, tipicamente hidróxido de potássio. As reações de oxidação-redução são dadas apenas entre os elétrodos, o que anula a ocorrência de sulfatação. Estas baterias têm um preço inicial mais elevado do que as de chumbo-ácido, mas são mais resistentes a condições de sobrecarga e a variações de temperaturas. A vantagem desta bateria reside em permitir correntes elevadas quando estiver a carregar, conduzindo a um tempo menor de carga. As principais desvantagens desta bateria, está na existência de efeito de memória e do seu

preço inicial elevado. São apresentadas a seguir as vantagens e desvantagens destas baterias [53]:

### Vantagens

- Bom desempenho a baixa temperatura;
- Elevado número de ciclos de carga ou descarga; se mantida corretamente, fornece mais de 1000 ciclos de carga ou de descarga;
- Bom desempenho de carga. Permite recarregar a baixas temperaturas;
- Preço económico; é a bateria de menor custo em termos de custo por ciclo;
- Prazo de validade longo em qualquer estado de carga;
- Disponível numa ampla gama de tamanhos e opções de desempenho; a maioria das células são cilíndricas;
- Armazenamento simples e fácil transporte; a maioria das empresas de transporte aéreo aceitam transportar as baterias sem condições especiais.

### Desvantagens

- Efeito de memória; deve ser periodicamente carregada para evitar os efeitos de memória;
- Baixa densidade de energia, comparando com outros sistemas mais recentes;
- Tem elevada taxa de auto-descarga e precisa de ser recarregada após o armazenamento;
- Prejudiciais ao meio ambiente, contendo metais tóxicos. Alguns países estão a limitar o uso desta bateria.

Na Figura 5.2 apresenta-se a bateria de níquel cadmio.



Figura 5.2 - Bateria de Níquel cadmio [17]

### 5.2.3. Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel (NiMH)

As baterias de NiMH é semelhante às baterias de NiCd. A diferença relativamente às baterias NiCd está na alteração dos materiais que constituem o cátodo, uma liga de elementos metálicos, que anula o indesejável efeito de memória. As vantagens e desvantagens das baterias de NiMH são apresentadas a seguir [53].

## Vantagens

- Menor tendência para o efeito de memória quando comparado com a bateria de NiCd, sendo necessário menor frequência de ciclos periódicos de carga ou de descarga.
- 30 a 40% de maior capacidade do que na bateria de NiCd padrão. A bateria de NiMH tem potencial para densidades de energia ainda mais elevadas;
- Armazenamento e transporte simples; as condições de transporte não estão sujeitas a controlo regulamentar;
- Sustentáveis ambientalmente, não contendo agentes tóxicos perigosos; rentável para reciclagem.

## Desvantagens

- Com vida útil limitada, se forem repetidos ciclos profundos, especialmente em correntes de descarga elevada, o desempenho começa a ser reduzido após 200 a 300 ciclos. São preferíveis ciclos baixos de descarga;
- Corrente de descarga limitada, embora seja capaz de fornecer correntes de descarga altas, repetidas descargas reduzem o ciclo de vida da bateria;
- Alto custo de manutenção, a bateria requer descargas completas regulares para evitar a formação cristalina;
- O desempenho é deteriorado quando armazenada a temperaturas elevadas; devem ser armazenadas em locais frescos com um estado de carga de 40%;
- Alta auto-descarga, têm cerca de 50% maior taxa de auto-descarga quando comparadas com as de NiCd. Novos elementos químicos melhoram a taxa de auto-descarga, com a contrapartida da diminuição da densidade de energia.

Ilustra-se na Figura 5.3 a bateria de hidretos metálicos de níquel.

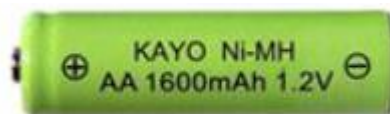


Figura 5.3 - Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel [17]

### 5.2.4. Baterias de Iões de Lítio (Li-íon)

As baterias de Li-íon são constituídas por um cátodo de lítio, um ânodo de carbono poroso e um eletrólito composto por sais de lítio num solvente orgânico, solução não aquosa. Estas baterias têm um tempo elevado de vida útil e são bastante leves, comparada com as outras. Podem ser carregadas com correntes altas, tal como as NiCd, e suportam uma vasta amplitude de temperaturas de funcionamento. A sua baixa eficiência e o seu elevado preço são as principais

desvantagens deste tipo de baterias. As vantagens e desvantagens das baterias de Li-íon são descritas a seguir [53].

### Vantagens

- Alta densidade de energia;
- Baixa taxa de auto-descarga. A taxa de auto-descarga é cerca de metade quando comparado com a bateria de NiCd;
- Baixa manutenção, não é necessário efetuar descargas periódicas; não tem efeito de memória.

### Desvantagens

- Corrente de descarga moderada;
- Requer um circuito de proteção que limita a tensão e a corrente;
- Sujeito a regulamentações de transporte. Esta restrição não se aplica a baterias de uso pessoal;
- Sujeito a envelhecimento, mesmo que não se encontre em utilização. O efeito de envelhecimento pode ser reduzido se o armazenamento da bateria for feito num lugar fresco e com um estado de carga de 40%;
- Custo elevado na fabricação. Têm um custo 40% superior quando comparadas com as baterias de NiCd. Melhores técnicas de fabrico e substituição de metais raros com alternativas de menor custo, irão reduzir o seu preço [23].

Ilustra-se a seguir uma bateria de íões de lítio na Figura 5.4.



Figura 5.4 - Bateria de íões de Lítio [54]

### 5.2.5. Baterias de Polímero de Lítio (Li-poly)

As baterias de Li-poly, também conhecidas por baterias de polímero de íons de lítio, são uma evolução das baterias de íons de lítio, Figura 5.5. Devido às suas características, estas baterias podem ser moldadas com a forma pretendida. Isto permite um melhor aproveitamento do espaço disponível, e ao contrário das células de íons de lítio que são cilíndricas, estas baterias são mais compactas, pois não há espaço desperdiçado dentro de cada módulo [55].

As baterias de polímeros de lítio são utilizadas nos automóveis SLS AMG E-CELL da Mercedes-Benz [55].



Figura 5.5 - Bateria de Polímero de Lítio [56]

### 5.3. Comparação de Baterias

Das diversas tecnologias das baterias mencionadas, a bateria que apresenta menor custo é a bateria de Chumbo-Ácido. Contudo, também é o sistema de armazenamento que apresenta uma menor relação entre o seu peso e a energia armazenada. A bateria de Lítio é a tecnologia de bateria mais cara. No entanto, pode se observar na Tabela 5.2, a relação entre o custo de produção e a energia armazenada (€/kWh) é melhor em comparação com as baterias baseadas na tecnologia de Níquel [15].

As baterias baseadas na tecnologia de íons de lítio são as que apresentam uma maior energia específica e uma maior potência específica, em simultâneo. Das tecnologias mencionadas, as principais competidoras para utilização em EVs são a bateria de NiMH e a bateria íons de Lítio [15].

A avaliação do estado da bateria e a gestão eficiente da energia são princípios básicos relativos à aplicação da bateria. Como tecnologia de núcleo de EV, estimativas precisas da capacidade da bateria e do estado da carga (SoC) são muito importantes [57]. No entanto, com o desenvolvimento progressivo da tecnologia da bateria de Lítio é de esperar que seja esta a tecnologia maioritariamente empregue em EVs [15].

Apresenta-se na Tabela 5.2 a comparação entre as diversas tecnologias de baterias.

Tabela 5.2 - Comparação entre as diversas tecnologias de baterias [9]

Tecnologia da Bateria	Características				
	Energia Específica (Wh/kg)	Densidade de Energia (Wh/l)	Potência Específica (W/kg)	Número de Ciclos	Custo de Produção (€/kWh)
Chumbo-Ácido	35	100	180	1000	46
Níquel cadmio	50-80	300	200	2000	190-230
Hidreto Metálico de Níquel	70-95	180-220	200-300	< 3000	150-190
ões de Lítio	118 - 250	200 - 400	200 - 430	2000	115
Lítio-polímero	130 - 225	200 - 250	260 - 450	> 1200	115

A partir da Tabela 5.2, verifica-se que ainda não existe nenhuma tecnologia de bateria que satisfaça simultaneamente todos os critérios definidos pela USABC (United States Advanced Battery Consortium). A bateria baseada na tecnologia de Lítio é a tecnologia que está mais próxima de atingir essas metas [15].

O sistema de gestão da bateria (BMS) num EV é um componente central que garante o funcionamento correcto da bateria, podendo prolongar a sua vida útil. A função de um BMS depende em grande parte da precisão monitorizada dos parâmetros e estados da bateria. O SoC é um dos estados monitorizados mais importantes e é usado para indicar o estado de energia da bateria [58].

#### 5.4. Algoritmos de Carregamento para Baterias

Devido à natureza diferente dos diversos tipos de baterias, nem todas podem ser carregadas com o mesmo método, nem com as mesmas tensões ou correntes. Por exemplo, enquanto a bateria de Chumbo-Ácido suporta a sobrecarga, já na bateria de íões de Lítio a ocorrência de sobrecarga durante o carregamento é extremamente prejudicial. Por isso, existem vários métodos para efectuar o carregamento de uma bateria. Nesta secção são apresentados os métodos de carregamento mais utilizados.

A escolha de um algoritmo de carregamento deve ter em consideração o tipo de bateria a que se destina, bem como as suas características, de modo a que o carregamento desta ocorra em segurança. Também é recomendada a leitura do manual de instruções da bateria para verificar se não existem recomendações efetuadas pelo fabricante.

Caso na escolha do método de carregamento as recomendações do fabricante não sejam tidas em conta, pode ocorrer uma deterioração da bateria. Esta deterioração pode ser, por exemplo, devido a uma sobrecarga ou sobreaquecimento. O tempo necessário para efetuar o carregamento da bateria é outro fator a ter em consideração. É natural que o processo de carregamento da bateria seja constituído por vários e diferentes algoritmos de carregamento, designados por estágios de carregamento [15]. Os algoritmos/métodos de carregamento são: corrente constante (CC) e tensão constante (CV), multi-estágio e carregamento por pulsos [59]. O algoritmo de carregamento de CC / CV é amplamente referenciado na literatura devido à sua simplicidade e facilidade de implementação. No entanto, quando aplicado a um grande pacote de iões de lítio, esse tipo de carregamento sofre de algumas limitações de implementação. Este algoritmo é caracterizado por três fases de operação, conforme ilustrado na Figura 5.6(a).

A primeira fase, chamada de carga lenta (trickle charge - TC), corresponde a uma tensão da célula abaixo do valor crítico de  $V_{trickle}$ . Nesta condição, a célula deve ser carregada com uma corrente reduzida, tipicamente com um valor de  $C/10$  onde  $C$  é a capacidade nominal da célula. Assim que a tensão da célula exceder o valor  $V_{trickle}$ , o algoritmo de carregamento muda para a segunda fase. Nesta fase, a célula é submetida a uma corrente de carga constante (CC), com um valor fixo e predeterminado, variando entre  $0,5 C$  e  $3,2 C$  de acordo com suas especificações. Quando a tensão da célula atinge o valor  $V_{charge}$  (tipicamente  $4,2 V$ ), o algoritmo muda para a terceira fase de carga. Nesta fase, a célula é submetida a uma tensão constante (CV). Quando a corrente atinge um valor padrão, normalmente  $0,1 C$ , ou o tempo de carregamento máximo, o processo está completo. Para mitigar as desvantagens deste método (principalmente o tempo de carregamento), algumas variantes podem ser encontradas na literatura, por exemplo, o carregador com controlo em dupla malha fechada (DL-CC / CV), o carregador Boost (BC-CC / CV), o carregador com controlo fuzzy (FL-CC / CV), o carregador baseado em controlo predictivo “cinza” (GP-CC / CV) e o carregador com controlo de malha de captura de fase (PLL-CC / CV).

O controlo ótimo de condutividade iónica (OIC) é um algoritmo para melhorar o desempenho do método CC / CV. Este método controla a condutividade iónica, uma das características eletroquímicas relevantes para uma estratégia de controlo de carga ideal. Este esquema de controlo mede on-line a impedância da bateria e rastreia os seus pontos de saturação, resultando numa melhor eficiência, menor tempo de carregamento e menor taxa de aumento de temperatura. Outra metodologia presente na literatura é o carregamento multi-estágio, que consiste em múltiplos estágios de carga com diferentes níveis de corrente, conforme mostrado na Figura 5.6(b). Este método estabelece diferentes níveis de corrente de carga e as condições para a mudança entre eles. O critério mais utilizado para alternar entre estágios (critério de cruzamento de limite) é o do limite de tensão de célula, reduzindo a corrente e tornando as

leituras de tensão mais realistas, porque a queda de tensão através da resistência interna da célula é menor [59].

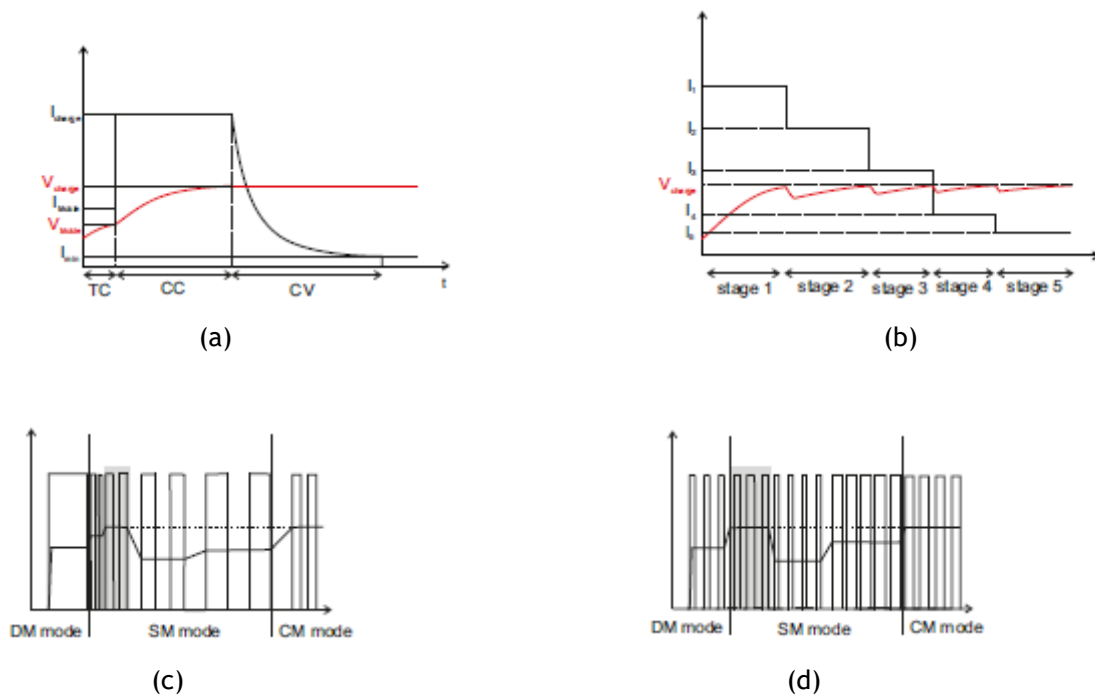


Figura 5.6 - Métodos de carregamentos: (a) método de carregamento CC/CV; (b) método de cobrança multi-estágio; e (c) e (d) método de carregamento por pulsos (carga de pulso de frequência variável e abaixo da corrente de pulso de função variável) [59].

Alguns autores escolhem algoritmos de otimização para encontrar os estágios ótimos, baseados em diferentes abordagens, como o algoritmo PSO e os controladores difusos. No entanto, apesar do uso de algoritmos de otimização, o critério de cruzamento do limite continua a concentrar-se no limite de tensão da célula.

Outro método de carregamento, o carregamento por pulsos, é caracterizado pelo uso de uma corrente pulsada e pode ser subdividido em duas metodologias: a carga com pulso de frequência variável (VFPC) e a carga com corrente de pulso de função variável (VDPC), conforme ilustrado na Figura 5.6(c) e (d). O VFPC otimiza a frequência do pulso actual para minimizar a impedância da célula e consequentemente maximizar a transferência de energia. Essa maximização da transferência de energia pode ser alcançada de duas maneiras diferentes: definindo a amplitude do pulso e variando a largura do pulso, ou vice-versa. Chen, propôs um algoritmo de carregamento VFPC composto por três modos de operação: modo de detecção (DM), modo de busca (SM) e modo de carga (CM). Resumidamente, o algoritmo inicia a sua operação no modo DM e detecta o estado da célula, aplicando uma tensão constante à célula para monitorizar a corrente de carga. Uma vez este modo concluído, o algoritmo muda para o modo de operação SM, descobrindo a frequência ideal. Assim que a frequência for "otimizada",

o algoritmo entra no modo de operação CM, repetindo este processo até a célula ser carregada. Além disso, o mesmo autor propõe um método semelhante baseado na metodologia VDPC [59].

## 5.5. Comparação dos Métodos de Carregamento

Uma comparação dos vários métodos de carregamento é mostrada na Figura 5.7. O método de carregamento multi-estágio tem a melhor relação entre eficiência, simplicidade de controle e tempo de carregamento. O método de carregamento de pulso é o pior em termos de implementação e complexidade de controle [59].

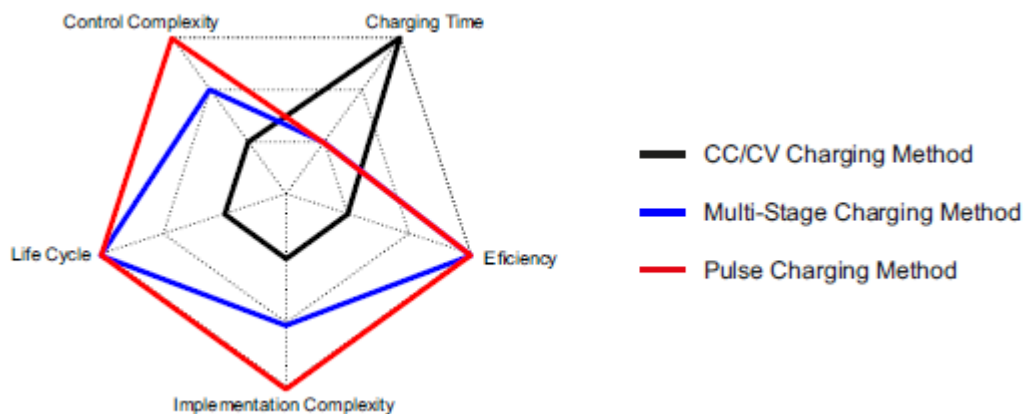


Figura 5.7 - Comparação dos métodos de carregamento [59].

Após o estudo realizado sobre as baterias, chegou-se à conclusão que a bateria que apresenta o menor custo, é a bateria de Chumbo-Ácido. Mas tendo em conta algumas especificações, tais como a capacidade de armazenamento de energia, o peso, a autonomia de carga, etc, a bateria de lões de Lítio é a melhor para ser utilizado neste projeto, tendo apenas como desvantagem o seu elevado custo. Entretanto, a tecnologia de carregamento desta bateria é baseada no método de carregamento de CC/CV. As baterias de lões Lítio têm vindo a ganhar cada vez mais o espaço em aplicações nos EVs, tendo em conta o desenvolvimento da tecnologia das baterias [59].

As tecnologias de carregamento podem ser agrupadas consoante o método de carregamento, que pode ser efectuado com ligação condutiva, com ligação indutiva ou estações de permuta/troca de baterias [15].

## 5.6. Tipos de sistemas de carregamentos de EVs

Existem três (3) tipos de sistemas de carregamento, que são mencionados a seguir:

- Com Ligação Condutiva
- Com ligação Indutiva
- Estações de troca de baterias

### 5.6.1. Sistema de Carregamento com Ligação Condutiva

O sistema de carregamento com ligação condutiva para EV resume-se ao contacto directo entre a fonte de alimentação exterior ao veículo (posto de carregamento) e o próprio veículo, por meio de um cabo eléctrico, Figura 5.8. O carregamento do veículo eléctrico efetua-se em tomadas eléctricas apropriadas, onde a ligação é materializada através de cabos eléctricos. Os carregadores de bateria para EVs podem estar colocados no interior do veículo (*on-board*) ou no exterior deste (*off-board*), e o fluxo de energia pode ser unidirecional ou bidirecional. Porém, o carregamento unidirecional é o primeiro passo, porque limita os requisitos de hardware, simplifica as questões de ligação e reduz a degradação da bateria. O carregamento bidirecional é uma questão em aberto para o futuro, que será assente no desenvolvimento das baterias e no conceito veículo para rede (*Vehicle to Grid - V2G*).

São usadas duas terminologias para definir os tipos de carregamento com ligação condutiva, “Nível” que é usada principalmente na América do Norte e “Modo” que é utilizada pelas organizações Europeias. As configurações específicas de cada modo de carregamento variam de país para país, dependendo da frequência e da tensão do sistema eléctrico, e da legislação em vigor em cada país [15].

O carregamento pode ser feito também em casa do proprietário de um EV, para tal, é necessária a instalação de um carregador doméstico. Existem várias empresas que produzem carregadores domésticos, entre elas a Efacec, a Magnum, a General Electric, a Siemens e a Schneider Electric [55].

Estes carregadores fornecem ao EV uma corrente alternada para poder alimentar a bateria do veículo, e dentro do veículo encontram-se elementos electrónicos que fazem a conversão de energia em DC para permitir carregar a bateria. Estão ainda incluídos dispositivos de proteção nestes carregadores.



Figura 5.8- Carregamentos com fios: (a) Posto de carregamento; (b) Carregador doméstico [55]

### 5.6.2. Sistema de Carregamento com Ligação Indutivo

A transferência de energia por indução é uma nova tecnologia em veículos eléctricos, que cria possibilidades para o carregamento de baterias. Portanto, a complexidade do seu controlo e a sua baixa eficiência são fatores que dificultam a sua implementação.

No passado, estes sistemas tinham sido usados com sucesso em aplicações biomédicas e de instrumentação, na movimentação de materiais nas indústrias e atualmente estão a ser integrados no carregamento de baterias dos EVs [60].

Neste sistema, o carregamento de baterias dos EVs é feito sem fios, Figura 5.9. Estes carregadores utilizam o princípio do acoplamento indutivo ressonante para transferirem energia do primário, instalado no posto de carregamento, para o secundário que se encontra montado no veículo. O acoplamento indutivo ressonante é utilizado quando o primário e o secundário estão relativamente afastados um do outro, como é no caso dos sistemas de carregamento sem fios de EVs. Para além do secundário, é ainda necessário um sistema de carregamento on-board no veículo, que rectifique a corrente e carregue as baterias de acordo com as suas necessidades [55].

O processo de carregamento dos EVs acontece quando este está imobilizado numa estação que tem instalado o posto de carregamento.

A frequência de operação e o mecanismo de acoplamento são dos fatores mais importantes que afetam o design e o desempenho do sistema de carregamento. Contudo, os sistemas para carregarem EVs devem utilizar alta frequência para diminuir o tamanho e peso do sistema de carregamento [15].



Figura 5.9 - Sistema de carregamento com ligação indutivo [61]

### 5.1.1. 5.6.3. Estações de Troca de Baterias

Como se sabe, uma das desvantagens dos EVs em comparação com veículos com motor de combustão interna é o tempo de abastecimento. Para tentar minimizar esse problema uma das soluções previstas são as estações de troca rápida da bateria, Figura 5.10. Nestas estações é possível trocar uma bateria descarregada por outra totalmente carregada em menos de 5 minutos, para tal, o veículo tem de ser projetado de tal forma que permita o acesso fácil e

rápido às baterias. Este acaba por ser o grande entrave a esta solução, pois ainda são poucos os veículos desenvolvidos com esta funcionalidade, pois é necessário que os EVs estejam equipados com baterias comutáveis (denominação de baterias que podem ser facilmente instaladas e removidas num EV) [15]-[55].

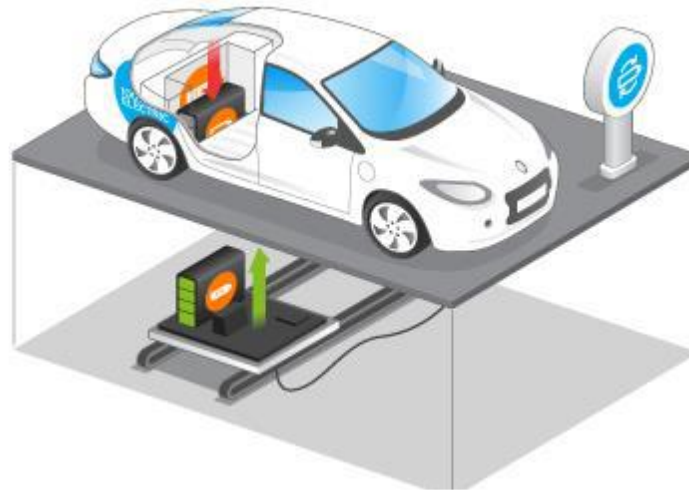


Figura 5.10 - Estação de troca de bateria da Better Place [55]

## 5.7. Informações Adicionais

O tempo necessário para o carregamento da bateria, é a principal desvantagem dos EV. Por esta razão, estudos nesta área têm sido desenvolvidos e impulsionados para investigação de novas tecnologias de carregamento das baterias utilizadas em EVs.

O dinamarquês Jesper Frausig teve a ideia de unir duas tecnologias limpas para melhorar a mobilidade urbana. Depois de três anos a desenvolver o produto, muitos testes e dois protótipos, o engenheiro apresentou a Solar Bike (SB), Figura 5.11.

Diferentemente dos outros tipos de EBs que precisam ser recarregadas em tomadas, ou até mesmo carregadas por indução, a Solar Bike tem células solares acopladas nas rodas, que garantem a autonomia da bateria por cerca de 70 km.

A bicicleta dinamarquesa alcança cerca de 25 a 50 km/h, assegura o engenheiro. A recarga da bateria é feita no momento em que a bicicleta está parada, em pé, em locais ensolarados. Quando o ciclista pedala, a bateria, instalada no tubo acima dos pedais, alimenta o motor.

A intenção de Frausig, que escreveu sobre a Solar Bike na sua tese de mestrado na Universidade de Berlim, é estimular o uso das bicicletas nas cidades, como por exemplo de Copenhague, a capital da Dinamarca, já que é um dos países onde elas são mais utilizadas. Segundo Frausig, a Solar Bike pode ser usada por pessoas mais velhas e em serviços de entrega e transporte, principalmente em países onde o acesso à energia eléctrica ainda é limitado [62].



*Figura 5.11 - Solar Bike [62]*

## **Conclusão**

A bateria é um dispositivo fundamental num EV, uma vez que é a única fonte de alimentação do motor, que permite a locomoção do veículo. A bateria é responsável por alimentar o motor eléctrico do veículo, ou seja, é da bateria que provém toda a energia necessária de um EV.

Neste capítulo foram estudadas as tipologias de baterias de forma generalizada, e em particular, as que são aplicadas em EV. As tecnologias de construção de baterias têm sido aprimoradas de forma a garantir a sua autonomia, visto que este é um dos grandes problemas que existe nas baterias utilizadas em EV.

Existem alguns requisitos para avaliar uma bateria, tais como o preço, peso, autonomia, etc. De todas as baterias estudadas neste trabalho, a bateria baseada na tecnologia de iões de lítio é a que tem melhores requisitos comparando com os outros tipos de baterias, tendo apenas como desvantagem o seu elevado preço.

Entretanto, as baterias baseadas na tecnologia de iões de lítio, continuam a dominar o mercado, como por exemplo na indústria automóvel, laptops, telemóveis, etc.

O tempo de abastecimento dos EVs tem sido um grande problema, mas com a ajuda das estações de troca de baterias tem-se diminuído consideravelmente este problema. As estações de troca de baterias só existem para os automóveis, até ao momento, ainda não existindo nenhuma estação de troca de baterias para EB.

---

# CAPÍTULO 6

---

Geração de Energia Solar Fotovoltaica



## 6. Geração de Energia Solar Fotovoltaica

### Introdução

As fontes renováveis de energia (RES) estão em rápido crescimento em todo o mundo graças a preocupações ambientais e a ideia de gerar electricidade à custa de menos poluição está a tornar-se cada vez mais atrativa. Ao contrário dos sistemas de geração convencionais, o “combustível” da energia solar PV está disponível sem nenhum custo. Porém, a produção intermitente e estocástica obtida de algumas dessas RES apresenta desafios técnicos e económicos quando integrados em larga escala devido à introdução de incertezas significativas na operação e planeamento dos sistemas de energia. Os sistemas de energia solar PV geram electricidade sem emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente e podem ser facilmente instalados em qualquer local disponível e com condições específicas de instalação de um sistema PV [63]-[64].

A energia solar PV é uma fonte de energia renovável que é limpa e ambientalmente amigável. Em 2016, a capacidade de energia PV instalada globalmente aumentou em 75 GWp, levando a uma capacidade cumulativa de 303 GWp [65].

Os módulos PVs são dispositivos utilizados para converter a energia da luz do sol em energia eléctrica. Estes módulos são compostos por células solares, assim designadas já que captam em geral, a luz do Sol [66]. Os principais componentes dos sistemas PVs são módulos fotovoltaicos, baterias, inversor, cabina de medição com equipamento de protecção e instalação [67].

Antes de especificar em maior detalhe quais as tecnologias actualmente utilizadas, é preciso compreender como funciona todo o sistema que permite obter electricidade a partir do Sol. O módulo PV é o seu componente principal. É composto por um material semiconductor, tipicamente silício, que se carrega eléctricamente quando submetido à luz solar. Substâncias dopantes são adicionadas ao semiconductor para permitir uma melhor conversão da potência associada à radiação solar em potência eléctrica [6].

Os sistemas PVs são combinações de muitos elementos, como células, sistemas mecânicos e eléctricos, entre outros, onde a energia eléctrica é gerada pela irradiação solar. Os sistemas de geração de energia PV são construídos em torno de uma série de células solares, baterias, inversores, carregadores, controladores de descarga, sistemas de controlo de seguimento solar e outros equipamentos [68].

A orientação dos módulos PVs tem um papel fundamental na electricidade obtida. Inclinando-os com um ângulo igual ao da latitude a que se encontram, maximiza-se a radiação solar incidente sobre o módulo ao longo do dia, e do ano. Alguns sistemas mais recentes possuem dispositivos de seguimento, que localizam o sol e viram o módulo na sua direcção. Sendo que a radiação solar varia consoante o período do dia, época do ano e condições climatéricas, a quantidade total de radiação solar é expressa em termos de horas de pico solar. Numa hora de pico solar, a potência é de  $1000 \text{ W/m}^2$ , e a energia resultante é de  $1 \text{ kWh/m}^2$  [6].

## 6.1. Tipos de Sistemas PVs

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas [69]:

- Sistemas PVs isolados ou autônomos (off-grid)
- Sistemas híbridos
- Sistemas PVs ligados à rede (on-grid)

Existem muitos subtipos diferentes de sistemas PVs de acordo com o tipo e método de ligação à rede, ou de acordo com a forma de armazenar energia em sistemas independentes.

### 6.1.1. Sistemas PVs Isolados ou Autônomos (off-grid)

Neste sistema, a energia eléctrica é utilizada diretamente ou acumulada em banco de baterias para ser utilizada fora das horas de produção e é fundamentalmente concebido para alimentar um conjunto de cargas que operam isoladas da rede eléctrica, durante todo o ano [70]-[71].

Os sistemas PVs isolados, em geral, necessitam de algum tipo de armazenamento. O armazenamento pode ser feito em baterias, quando se deseja utilizar aparelhos eléctricos nos períodos em que não há geração PV, ou em outras formas de armazenamento de energia. A bateria também funciona como uma referência de tensão DC para os inversores que fazem parte da rede do sistema isolado. Os sistemas isolados contam também com uma unidade responsável pelo controlo e condicionamento de potência, composta por um inversor e um controlador de carga [50]. Esses sistemas são usados em áreas rurais onde não há rede eléctrica e infraestrutura. Os sistemas estão ligados a um reservatório de energia (bateria) através de um controlo do seu o carregamento e descarregamento. O inversor também pode ser usado para fornecer corrente alternada para equipamentos eléctricos e eletrodomésticos. As instalações PVs isolados são usadas para garantir a disponibilidade de electricidade em áreas remotas (resorts de montanha, ilhas, áreas rurais, áreas em desenvolvimento) [67]. Na Figura 6.1 apresenta-se o esquema de um sistema PV isolado/autônomo.

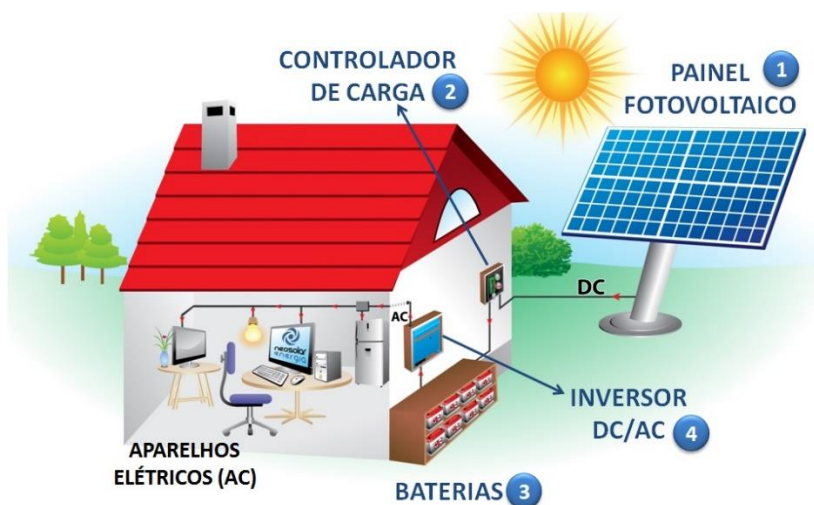


Figura 6.1 - Sistema PV Isolado [72]

### 6.1.2. Sistemas Híbridos

Um sistema híbrido é uma tecnologia que engloba duas diferentes funções em apenas um equipamento, ou seja, é um sistema separado da rede convencional, que apresenta várias fontes de geração de energia eléctrica [73]-[69].

Sistemas híbridos são aqueles que apresentam diversas fontes para a geração de energia diferenciada, como as turbinas eólicas, geração diesel, etc [74]. Um sistema solar PV pode ser combinado com outras fontes de energia, como o gerador a biomassa, as turbinas eólicas, o gerador diesel, tudo para garantir um fornecimento constante e suficiente de electricidade, já que é sabido que todas as fontes de energia renováveis, incluindo os sistemas PVs, não são constantes na produção de energia. Isto significa que, quando não há sol, o sistema não produz electricidade, embora a necessidade de energia seja constante e, portanto, a carga deve ser atendida a partir de outras fontes. Esse sistema utiliza mais de uma fonte de energia que depende da disponibilidade dos recursos, para gerar e distribuir energia eléctrica, de forma otimizada e com custos mínimos, a uma determinada carga ou a uma rede eléctrica, isolada ou ligada a outras redes [67]-[75]. A Figura 6.2 ilustra um sistema híbrido.



Figura 6.2 - Sistema Híbrido [69]

### 6.1.3. Sistemas PVs Ligados à Rede (on-grid)

O sistema fotovoltaico ligado à rede consiste de duas partes fundamentais: conjuntos fotovoltaicos que convertem a irradiação em energia eléctrica e o inversor que converte essa energia DC em AC e, em seguida, alimenta a rede. Opcionalmente, poderá existir um banco de baterias como um meio de armazenamento em caso de interrupção ou falta de energia na rede [76].

Neste sistema, a energia eléctrica não utilizada na habitação é injetada na rede eléctrica [70]. Os módulos PVs convertem a energia solar em DC, enquanto o inversor PV ajusta a energia produzida em valores padronizados, de uma forma a fazer a injeção na rede eléctrica pública. A tensão AC é fornecida à rede eléctrica através do equipamento de protecção e medição. O

inversor PV geralmente está localizado dentro de casa, embora hajam inversores para instalação no exterior, que não devem ser expostos diretamente à luz solar. Os inversores convertem energia em AC de alta qualidade a níveis de tensão definidos e são adequados para sistemas PVs ligados à rede. Os inversores de rede operam como qualquer outro inversor, com a diferença de que os inversores de rede devem garantir que a tensão que eles fornecem esteja em fase com a tensão da rede. Isso permite que os sistemas PVs entreguem a electricidade à rede eléctrica [67].

A tensão de saída do inversor deve estar em conformidade com o regulamento, em tensões padronizadas para rede de distribuição de energia eléctrica de baixa tensão e equipamentos eléctricos. Os níveis da tensão nominal padronizada são 230 V a 400 V entre o condutor de fase e o neutro, e entre os condutores de fase, respetivamente, à frequência nominal de 50 Hz e, em condições normais, não deve diferir do valor nominal por mais do que  $\pm 10\%$  [67]. Na Figura 6.3 apresenta-se um sistema PV ligado à rede.

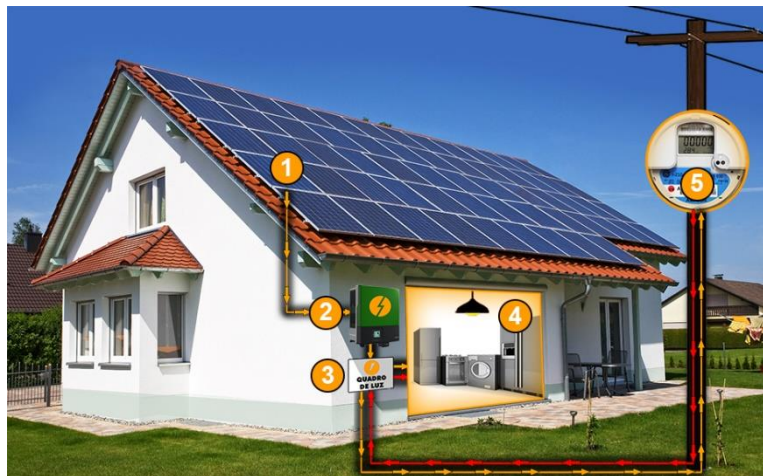


Figura 6.3 - Sistema PV conectado à Rede [77]

A norma IEEE 929 apresenta as definições específicas para a ligação de sistemas PV na rede eléctrica relacionadas com a qualidade de energia, proteção e segurança de operação [78].

Os inversores utilizados em sistemas eléctricos PVs tornam-se necessários para converter a corrente DC nos terminais dos módulos PVs em AC, com valores que sejam padrão da rede eléctrica pública e dos equipamentos electrónicos convencionais [79].

## 6.2. Inversores Solar

Os inversores são um dos componentes do sistema PV, cuja função é converter a energia em DC do sistema PV para AC, permitindo a ligação de equipamentos convencionais que funcionam a corrente alterna ao sistema PV [80]. Comumente, um inversor (também conhecido como uma unidade de condicionamento de energia (PCU) ou sistema de conversão de energia (PCS)) é um dispositivo que modifica a entrada em DC para uma saída em AC [81]. Além da conversão de energia em DC para AC, os inversores atuais incluem funções adicionais, como o controlo do

gerador solar, medições de parâmetros em DC ou em AC, monitorização e proteção do sistema solar completo, comunicação com o utilizador e outros. Em suma, hoje, um inversor solar é um produto de alta tecnologia em todas as suas funções. Os inversores também podem funcionar como carregadores de bateria que usam grandezas AC de outra fonte e convertem-nas em grandezas DC para carregar baterias [79] - [82].

Os inversores utilizados para instalações PVs são dimensionados em função da potência instalada no sistema, ou seja, o inversor é dimensionado para uma potência superior à potência do sistema PV, caso contrário o inversor seria danificado.

São também dimensionados em função da tensão de entrada que é dada pelo somatório dos módulos ligados em série. Por sua vez, deve-se ter em atenção no seu dimensionamento as situações em que este está a funcionar no inverno e no verão, visto que a tensão depende da temperatura [80].

Este equipamento tem um símbolo eléctrico que o identifica. Este está apresentado na Figura 6.4.

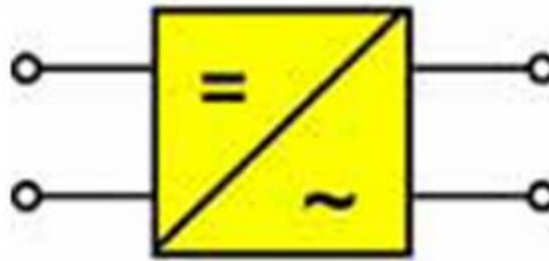


Figura 6.4 - Simbologia do inversor [71]

De seguida, na Figura 6.5, é apresentado um esquema de ligação de inversor DC/AC inserido num sistema PV.

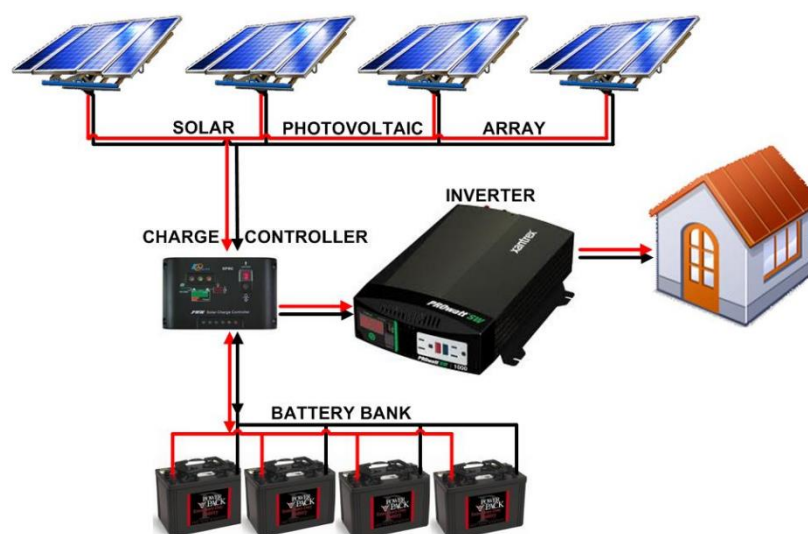


Figura 6.5 - Diagrama de Inversor Solar [69]

## 6.2.1. Tipos de Inversores Solar

Existe uma variedade de inversores no mercado, mas apenas se vai destacar os inversores utilizados em sistemas PVs, nomeadamente [83]:

- Inversores off-grid
- Inversores híbridos
- Inversores grid-tie/on-grid

### 6.2.1.1. Inversores Off-Grid

Num sistema isolado/autónomo PV, o armazenamento de energia em baterias e o fornecimento de energia para consumo é feito sob a forma de grandezas contínuas. Os inversores off-grid são utilizados para possibilitar o uso de aparelhos eléctricos AC convencionais de 230V, 50Hz a partir da rede DC [83].

Um inversor off-grid deve poder alimentar uma vasta gama de equipamentos eléctricos, nomeadamente ferramentas, máquinas eléctricas, eletrodomésticos e dispositivos electrónicos de comunicação, Figura 6.6.

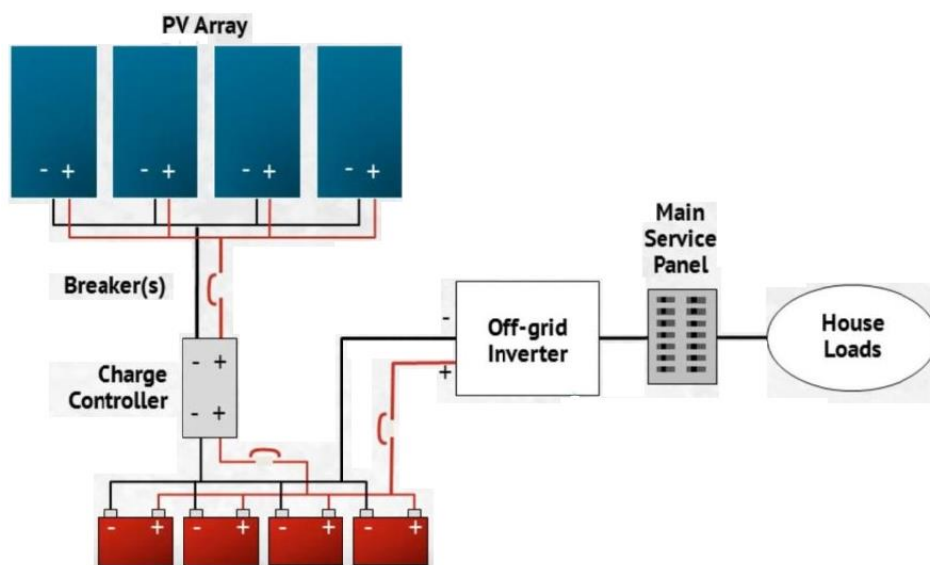


Figura 6.6 - Diagrama de inversor off-grid [84]

Apresenta-se a seguir algumas características de um bom inversor off-grid [83]:

- Corrente alternada sinusoidal, com a tensão e a frequência estabilizadas;
- Excelente eficiência de conversão, mesmo para operações em regime de carga parcial;
- Proteção contra uma profunda descarga da bateria;
- Baixo conteúdo harmónico, etc.

A norma IEEE 519 contém as recomendações necessárias para o controlo da injeção de harmónicas no sistema eléctrico de potência [78].

### 6.2.1.2. Inversores Híbridos

A principal característica deste tipo de inversores, Figura 6.7, é a sua grande versatilidade e a existência de um banco de baterias que o alimenta. De facto, é possível ao utilizador parametrizar com relativa facilidade a gestão das fontes de energia que estão ligadas ao inversor (PV, Baterias, Rede Eléctrica, Gerador) e definir a sua prioridade de utilização. Por exemplo, pode definir que quando a energia produzida através do gerador PV for suficiente, o inversor alimenta as cargas e se houver excedente de energia, esta será canalizada para armazenamento nas baterias, sendo que se estas estiverem carregadas o excesso de energia é injetado na rede eléctrica. Pelo contrário, se houver ausência de produção PV ou se esta for insuficiente para alimentar as cargas, poder-se-á usar energia armazenada nas baterias ou alimentar essas cargas com energia da rede eléctrica [83].

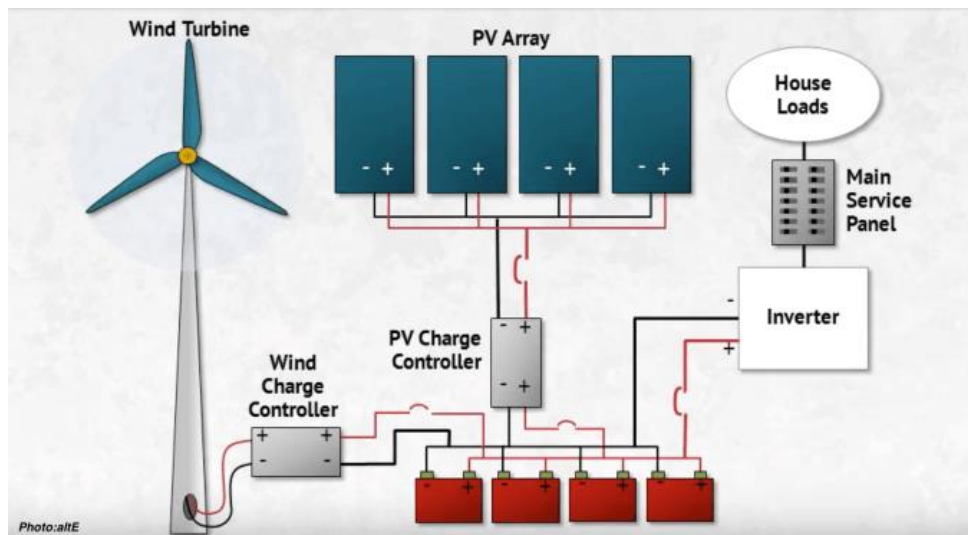


Figura 6.7 - Diagrama de Inversor híbrido [72]

### 6.2.1.3. Inversores Grid-Tie

Um inversor solar ligado à rede, Figura 6.8, é um tipo especial de inversor de potência que converte a energia em DC de saída do PV para AC, de modo que a energia possa ser injetada na rede eléctrica [76].

Nos sistemas ligados à rede, a tensão e frequência já estão regulados, o inversor DC/AC funciona como fonte de corrente eléctrica. Neste caso, os inversores possuem sofisticados sistemas de controlo para garantir a injeção de uma corrente sinusoidal pura e sincronizada com a tensão sinusoidal da rede de distribuição.

Outra importante função do sistema de controlo do inversor é o desligamento automático do mesmo em caso de falha no fornecimento de energia eléctrica pela distribuidora. Esta é uma

medida de segurança para proteger pessoas que possam estar a efetuar serviços de manutenção na rede e também nos próprios equipamentos [79].

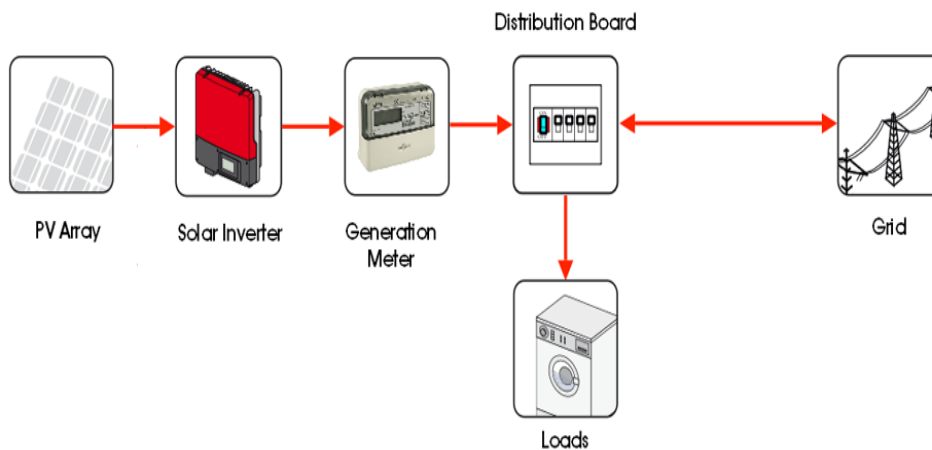


Figura 6.8 - Inversor on-grid [73]

Para fornecer o máximo de energia à rede, o inversor grid-tie deve operar no ponto de máxima potência (MPP) permitido pelo sistema PV. Como o MPP muda de acordo com as condições climáticas, o inversor deve possuir um sistema de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT), que ajusta automaticamente a tensão de entrada do inversor, de acordo com a tensão do MPP a cada instante [83]:

### 6.3. Tecnologias PV

Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas PVs encontram-se em crescente desenvolvimento. Assim, têm-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica.

O silício (Si) é o principal material no fabrico das células PVs, e constitui-se como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo [85].

A tecnologia PV atualmente existente pode ser dividida em três subcategorias. Estas dividem os tipos de células existentes segundo o seu tipo. As células de primeira geração, feitas a partir de silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança. As de segunda geração apareceram há cerca de 30 anos, e correspondem às soluções de película fina, divididas em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) [6]-[85]. A terceira geração é definida pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), como: células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar do que as células baseadas num único band-gap electrónico. De forma geral, a terceira geração deve possuir baixo custo/watt, utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade, e ser altamente eficiente.

E por último, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou Poliméricas [85].

### 6.3.1. Primeira Geração (Silício Cristalino)

#### Módulo PV Silício Monocristalino (m-Si)

O silício monocristalino é o material utilizado no fabrico de circuitos integrados para microelectrónica. As células feitas com este material são historicamente as mais utilizadas e comercializadas como conversores directos de energia solar em electricidade. As células são formadas em fatias de um único grande cristal, previamente crescido e fatiado. A grande experiência no seu fabrico e a pureza do material garantem uma alta eficiência e confiabilidade do produto. Enquanto o limite teórico da eficiência de conversão da luz solar em energia eléctrica, para esta tecnologia, é de 27%, são encontrados em produtos comerciais valores nas gamas dos 12 a 16%. Devido às quantidades de material utilizado e à energia envolvida no seu fabrico, esta tecnologia apresenta sérias barreiras para a redução de custos, mesmo em grandes escalas de produção [86]. A Figura 6.9 ilustra uma célula de silício monocristalino.

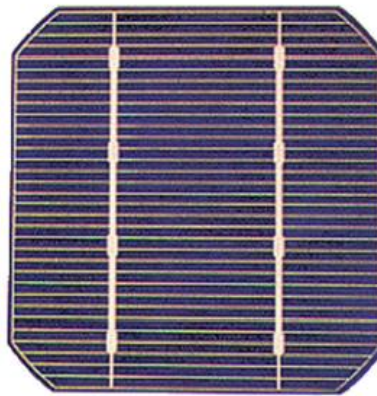


Figura 6.9 - Célula de Silício Monocristalino [79]

#### Módulo PV Silício Policristalino (p-Si)

Estas células são fabricadas a partir do mesmo material que as descritas anteriormente, embora ao invés de formarem um único grande cristal, são solidificadas em forma de um bloco composto de muitos pequenos cristais. A partir deste bloco são obtidas as fatias e fabricadas as células. A presença de interfaces entre os vários cristais reduz um pouco a eficiência destas células. Na prática, os produtos disponíveis alcançam eficiências muito próximas das oferecidas em células monocristalinas [86]. Na Figura 6.10 é apresentada uma célula de silício policristalino.

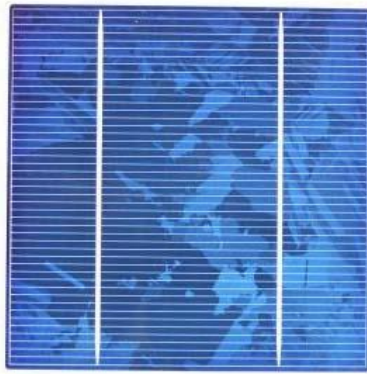


Figura 6.10 - Célula de Silício Policristalino [87]

### 6.3.2. Segunda Geração (Película Fina)

#### Filmes Finos

Diversos estudos nesta área têm direcionado o fabrico dos filmes finos para a utilização de diferentes materiais semicondutores e diferentes técnicas de deposição. Por exemplo, obter um filme a partir de camadas finas de materiais como o silício e outros, sob uma base que pode ser rígida ou flexível. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), o disseleneto de cobre e índio (CIS) e o telureto de cádmio (CdTe). O material amorfo difere de um material cristalino pelo facto de não apresentar qualquer ordenamento no arranjo estrutural dos átomos. As células feitas com este material possuem eficiências inferiores às das células de silício cristalino [85]-[86].

Em comparação às demais tecnologias PVs, os filmes finos apresentam a grande vantagem de consumir menos matéria prima e menos energia no seu processo de fabrico, tornando muito baixo o seu custo. Além disso, o processo tem uma complexidade reduzida, e torna mais simples os processos automatizados, favorecendo a sua produção em grande escala [85]. Apresenta-se na Figura 6.11 uma célula PV de filme fino.

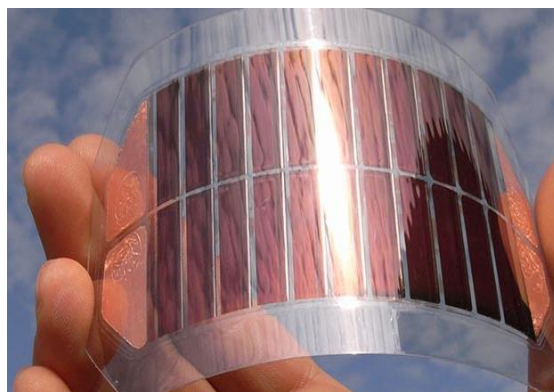


Figura 6.11 - Célula PV de Filme Fino [79]

### 6.3.3. Terceira Geração (Células Orgânicas)

As células PVs orgânicas foram apresentadas em 1991 pelo professor suíço Michael Gratzel, por isso são também chamadas de células Gratzel. As células orgânicas captam energia do sol de maneira semelhante à forma como as plantas realizam a fotossíntese, por meio de um ‘corante’ orgânico, razão da sua denominação [88].

Segundo o CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), e o CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica), Brasil, a mais recente das tecnologias PVs são as células orgânicas ou poliméricas, estando ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, teste e produção em pequena escala (2014). Esta tecnologia é baseada na utilização de um semicondutor orgânico, o qual é responsável pela absorção de luz, geração, separação e transporte de cargas. Alguns destes dispositivos são produzidos pela mistura de um polímero condutor e um derivado de fulereno.

As células orgânicas podem ser consideradas uma alternativa promissora para a conversão de energia solar PV a um custo bastante reduzido [85].

Porém, a produção das células não é complicada, mas há problemas de estabilidade dos materiais utilizados para permitir a captação dos electrões libertados pelo efeito fotovoltaico [88]. A Figura 6.12 mostra uma célula PV orgânica.



Figura 6.12 - Célula PV Orgânica ligada em Paralelo [89]

### 6.4. Benefícios/Vantagens da Energia Solar PV

- A energia solar PV permite gerar e consumir localmente energia eléctrica;
- O proprietário de uma moradia ou dum prédio de apartamentos, com cobertura adequada, sem sombras e de fácil acesso, pode equacionar instalar um sistema solar PV;
- A tecnologia solar PV tem um elevado potencial de integração nos edifícios, como elemento constituinte da cobertura ou da fachada;

- O tempo de recuperação do investimento de um sistema solar PV, ligado à rede eléctrica pública, depende do tipo de instalação, orientação, inclinação, manutenção do sistema e tarifário de energia eléctrica em vigor [70].

## 6.5. Outras Informações

A eficiência energética da maioria dos módulos PVs varia entre 14% e 16%, mas recentemente foi descoberta por cientistas norte-americanos a célula solar PV mais eficiente do mundo; esta é capaz de converter a luz solar direta em electricidade com uma eficiência de 44,5%.

Até hoje, a eficiência máxima de conversão de energia solar dos modelos de células foi de 25%. Este recorde de eficiência de conversão solar é considerado um importante passo na afirmação desta tecnologia no universo das energias renováveis.

A nova célula solar foi desenvolvida na Universidade George Washington e utiliza módulos fotovoltaicos concentradores (CPV), utilizando lentes para concentrar a luz solar em minúsculas células solares.

Esta nova invenção no mundo energético utiliza uma tecnologia que permite obter uma elevada eficiência; utiliza uma célula empilhada que apresenta uma função próxima de uma peneira para a luz solar, com materiais diferenciados em cada camada com capacidade de absorver a energia. Durante o processo de fabrico utiliza uma técnica de transferência de impressão, que permite a montagem tridimensional destes minúsculos dispositivos com um alto grau de precisão.

O principal autor do estudo e investigador da GW School of Engineering e Applied Science, Dr. Matthew Lumb, afirma que *“O nosso novo dispositivo é capaz de desbloquear a energia armazenada nos fotões de longa duração, perdidos nas células solares fotovoltaicas convencionais e, portanto, fornece um caminho para a realização da célula solar de multi-junção final”*. Isto é possível, pois o equipamento utiliza materiais que normalmente são utilizados em aplicações para laser e fotodetectores de infravermelhos.

É também importante referir que, como em qualquer outra tecnologia de conversão de energia, para que a quantidade de energia produzida seja maximizada basta aumentar a quantidade de conversores ou melhorar a eficiência dos mesmos.

Se pensarmos nesta tecnologia de uma forma extensiva, percebemos que os módulos solares só necessitariam de metade do espaço para produzir a mesma quantidade de energia, e com isso, é possível justificar-se o preço elevado do desenvolvimento desta nova célula [90].

Recentemente, uma nova descoberta surgiu no mercado da energia solar, e desta vez, foram investigadores do Centro de Pesquisa Cooperativa nano GUNE, que se encontra sediado em San Sebastian, Espanha, que desenvolveram um novo tipo de célula solar [91].

Esta nova célula solar, que utiliza eletrões magnéticos, possui a funcionalidade de simultaneamente operar como inversor de corrente, Figura 6.13. Para que esta invenção fosse funcional, os investigadores combinaram material fotovoltaico, mais concretamente, fulereno C60, eletrões magnéticos de cobalto, níquel e ferro, com válvulas rotativas.

Estas válvulas rotativas são normalmente utilizadas em memórias magnéticas e sensores. Com esta junção, os investigadores conseguiram então obter o resultado tão esperado, uma célula solar que segundo os seus criadores converte a luz em electricidade e simultaneamente ter o papel de inversor.



*Figura 6.13 - Célula solar que opera como inversor [91]*

O processo que permitiu alcançar este resultado necessita de um componente principal, um dispositivo que possibilite simultaneamente ter um efeito PV e um efeito de transporte de spin, efeitos estes que nunca tinham sido observados simultaneamente no mesmo dispositivo, até que os investigadores Espanhóis o alcançaram.

Durante este processo, os eletrões mantêm a sua orientação de rotação enquanto atravessam o dispositivo. Para além disto, o dispositivo desenvolvido tem uma função extra, este consegue operar como inversor, ou seja, é utilizado para converter a corrente DC, produzida por células solares, em corrente AC.

O C60 fullereno foi o material escolhido inicialmente, pois trata-se de um material PV que consegue sustentar a rotação polarizada dos eletrões. No entanto, foi provado nesta descoberta que este material não é muito eficiente no que diz respeito à absorção de energia solar, e por esse motivo, os investigadores têm trabalhado em possíveis novos dispositivos com características e capacidades idênticas, mas com materiais mais eficiente que substituam o C60 fullereno.

Esta nova descoberta significa mais um avanço na tecnologia solar fotovoltaica e acredita-se que um dispositivo comercial que opera em simultâneo como célula solar e inversor será possível num futuro próximo [91].

## Conclusão

Na última década, a utilização de sistemas fotovoltaicos apresentou um crescimento acentuado em muitos países, como a Alemanha, China, Japão, Espanha, EUA, etc. Estes países incorporaram a energia solar à sua matriz energética e implantaram programas nacionais de incentivos à adoção dessa fonte de energia, com legislações em conformidade com as especificidades locais e da tecnologia.

Os sistemas de geração de energia PV é uma fonte de energia renovável, sendo este um recurso inesgotável e livre de emissão de gases no meio ambiente, visto que estes são causadores do efeito de estufa no planeta.

Estudos realizados, reportam que o ano de 2050, 50% da geração de energia no mundo virá de fontes renováveis. Dessa demanda, 25% serão supridos pela energia solar PV.

Através dos estudos realizados neste trabalho, observou-se que as células PVs são fabricadas de vários materiais, sendo o silício o material mais empregue e, provavelmente, permanecerá assim por várias décadas.

Os inversores têm um fundamental papel em sistemas PVs, sendo eles os responsáveis por converterem a energia DC proveniente dos módulos PVs, para AC, permitindo assim o funcionamento dos dispositivos eletrônicos.

Novas tecnologias têm sido estudadas para o desenvolvimento das células PVs, de forma a tornar o sistema mais barato na produção e venda de energia eléctrica. Uma das grandes apostas das empresas produtoras de módulos solares PV, está no aumento da eficiência da conversão de energia, visto que até agora, a eficiência máxima dos módulos PVs é de 25%.

Deu-se um avanço significativo na tecnologia dos módulos PVs com a descoberta da célula solar que opera como inversor, e acredita-se que este dispositivo esteja disponível no mercado num futuro próximo.

---

# CAPÍTULO 7

---

**Proposta do Sistema de Conversão e Controlo Electrónico de Postos de Carregamento.**



## 7. Proposta do Sistema de Conversão e Controlo Electrónico de Postos de Carregamento.

### Introdução

No presente capítulo é retratado o sistema de conversão electrónico seleccionado para implementação nessa dissertação. Encontram-se também detalhados vários elementos para o funcionamento do sistema proposto, aplicando metodologias de cálculos para o seu dimensionamento.

### 7.1. Estabelecimento dos Parâmetros Operacionais do Sistema de Carregamento de Conversão.

No capítulo anterior falou-se dos tipos de sistemas PVs existentes e, neste capítulo será abordado detalhadamente o sistema PV ligado à rede eléctrica pública, visto que o sistema de carregamento de EV que será proposto está relacionado intimamente com este tipo de sistema. Inicialmente, os sistemas de ligação à rede eléctrica pública tinham sido desenvolvidos somente para centrais fotovoltaicas de grande porte, já que se pensava que poderiam, no futuro, resolver certos problemas existentes na geração e distribuição de energia convencional [79]. Hoje os sistemas ligados à rede eléctrica são também utilizados em pequenos sistemas de geração. O sistema proposto para esta dissertação é o sistema de carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica, tal como se ilustra na Figura 7.1.

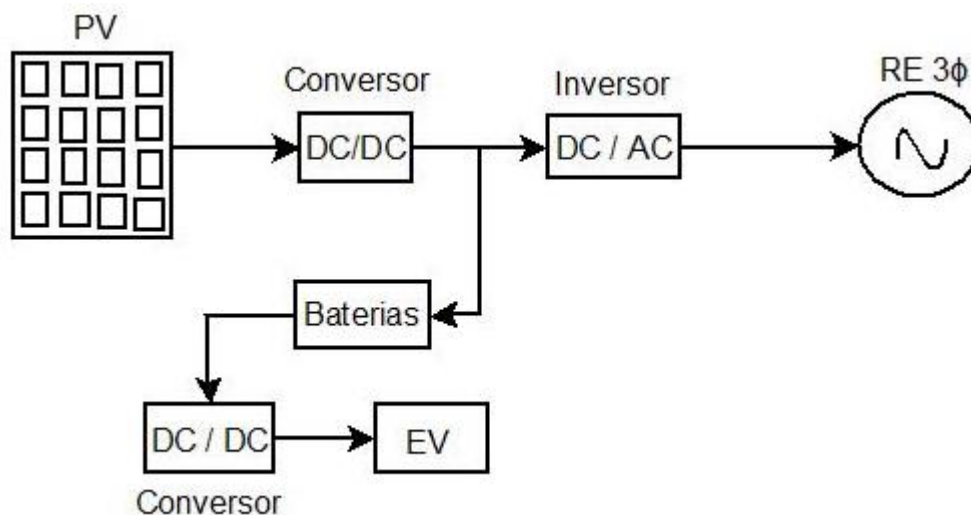


Figura 7.1 - Sistema de carregamento PV - Conversores DC/DC - Baterias - Bicicleta - Inversor DC/AC - Rede Eléctrica

O sistema global de carregamento proposto é um sistema onde se interligam vários componentes, nomeadamente, o sistema solar PV, que está ligado em paralelo com o sistema

de armazenamento de energia (baterias), os inversores, e finalmente um conversor que está ligado ao sistema de carregamento para poder alimentar o EV. Uma parte da energia é injetada na rede eléctrica pública quando existe excedente na produção de energia a partir dos módulos PVs.

## 7.2. Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico

Pretende-se dimensionar um sistema PV para ligação à rede eléctrica pública com uma potência de pico de 5 kWp, que será instalada numa área de 17 m<sup>2</sup> [92].

Para o dimensionamento de um sistema PV tem de se ter em conta os seguintes parâmetros:

- Potência do sistema PV;
- Número de módulos que integram o sistema;
- Potência do Inversor;
- Regulador de carga;
- As baterias;
- Cabos, etc.

A seguir são apresentados os métodos de cálculo para dimensionar os parâmetros do sistema PV.

### 7.2.1. Escolha do tipo de módulos Fotovoltaicos

Para determinar a potência máxima entregue por cada módulo PV, é necessário saber o tipo de material que constitui o módulo PV que será utilizado. A escolha do tipo de módulo PV depende do projetista. Para esta dissertação, escolheu-se os módulos PVs baseados na tecnologia de silício monocristalino da marca SUNPOWER, com as seguintes características:

$P_{max} = 345 \text{ Wp}$

$U_{mpp} = 57,3 \text{ V}$

$U_{oc} = 68,2 \text{ V}$

$I_{mpp} = 6,02 \text{ A}$

$I_{cc} = 6,39 \text{ A}$

Eficiência = 21,5%

Coefficiente de temperatura de potência = -0,30% / °C

Coefficiente de temperatura da tensão = -167,4mV / °C ( $\pm 10$  °C)

Coefficiente de temperatura da corrente = 3,5mA / °C

Medidas = 1.559 x 1.046 x 46 mm

Peso = 18,6 kg

Garantia = 25 anos

### 7.2.2. Cálculo para Determinar o número de Módulos PVs

Sabendo a potência entregue por cada painel, pode-se calcular o número de módulos PVs que a instalação irá necessitar. Sendo que a potência instalada do sistema é de 5 kWp, e a potência máxima entregue por cada módulo é de 345 W, o número de módulos PVs é determinado pela seguinte fórmula [80]:

$$P_{inst} = N * P_{m\acute{a}x} \quad (7.1)$$

$$N = \frac{P_{inst}}{P_{m\acute{a}x}}$$

onde:

N → Número de módulos PVs a instalar

$P_{inst}$  → Potência instalada do sistema PV

$P_{m\acute{a}x}$  → Potência máxima do módulo PV

Substituindo os valores na equação (7.1), tem-se:

$$N = 15$$

Após a determinação dos parâmetros acima, agora já se pode selecionar o inversor que será utilizado.

### 7.2.3. Dimensionamento e seleção do inversor

Quando se está perante potências muito elevadas, é aconselhável utilizarem-se vários inversores, mas para pequenas potências utiliza-se apenas um inversor central. Sendo este o caso deste projeto, será utilizado apenas um inversor central.

A escolha da potência do inversor, depende da potência máxima do sistema PV ( $P_{inst}$ ). Para um correto dimensionamento do inversor, deve-se escolher um inversor cuja potência seja superior à potência máxima do sistema PV, ou seja [80]:

$$P_{inv} > P_{inst}$$

onde:

$P_{inv}$  → Potência do inversor

A razão pela qual se deve escolher um inversor de potência superior à potência do sistema PV, reside na segurança do próprio inversor, e também para garantir que o inversor seja capaz de suportar a potência do sistema PV, evitando a sua danificação [80].

O inversor selecionado é da marca IMEON ENERGY que tem uma potência de 12 kW. Sabe-se que esta potência está muito acima da potência máxima do sistema PV, mas de realçar que não se encontrou um inversor que tenha uma potência abaixo da potência selecionada.

A tecnologia do inversor IMEON também tem a função de proteger e regular o nível energético das baterias. Todavia, não será necessário utilizar um regulador/controlador de carga, porque o inversor selecionado, faz o controlo de carga nas baterias, evita a sobrecarga e assegura o carregamento das baterias.

Apresentam-se a seguir, as especificações técnicas do inversor que foi selecionado:

$P_{\text{máx}} = 12 \text{ kW};$

$U_{\text{máx}} = 850 \text{ V};$

$U_{\text{mpp}} = 380 \text{ V} - 750 \text{ V};$

$I_{\text{máx}} = 36 \text{ A};$

Eficiência = 95,5%;

$U_{\text{AC}} = 230 \text{ V} - 400 \text{ V} (\pm 15\%);$

$f_{\text{AC}} = 50 \text{ Hz} - 60 \text{ Hz} / (\pm 5 \text{ Hz}).$

#### **7.2.4. Cálculo para Determinar o número Máximo e Mínimo de Módulos por Fileira**

O número de módulos que o sistema PV terá, será fixado pelo valor da tensão DC máxima permitida para interligar os módulos PVs em série e também pelo valor da tensão máxima à entrada do inversor.

Se houver uma falha de tensão da rede, o inversor sai de serviço e, se estivermos perante um dia onde a temperatura é muito baixa, a tensão em circuito aberto ( $U_{oc}$ ) nos módulos PV pode elevar-se, na eventualidade de haver um disparo no lado AC do sistema PV [92].

Para solucionar este problema, poderemos proceder da seguinte forma [92]:

- Limitar o número de módulos;
- Limitar o valor máximo de tensão da associação em série dos módulos PV.

#### **Número Máximo de Módulos PV por Fileira**

O valor da tensão no módulo PV, com um valor de temperatura de  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $U_{oc}$  a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ), é calculado pela seguinte fórmula [92]:

$$U_{oc} (-10^\circ\text{C}) = \left(1 - \frac{35^\circ\text{C} \times \Delta V(\%)}{100}\right) \times U_{oc} \quad (7.2)$$

onde:

$U_{oc}$  → Tensão em circuito aberto para uma dada temperatura

Substituindo os valores na equação (7.2), tem-se:

$$U_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{35^{\circ}\text{C} \times (-177,4 \times 10^{-3} \text{V}/^{\circ}\text{C})}{100}\right) \times 68,2$$

$$U_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) = 72,43 \text{ V}$$

O número máximo de módulos em série para interligação do sistema PV é determinado pela equação (7.3) [92]:

$$N_{\text{máx}} = U_{\text{máx.inv}} / U_{oc} (-10^{\circ}\text{C}) \quad (7.3)$$

onde:

$N_{\text{máx}}$  → Número máximo de módulos ligados em série

$U_{\text{máx.inv}}$  → Tensão máximo do inversor

Substituindo os valores em (7.3), tem-se:

$$N_{\text{máx}} = 750 / 72,43$$

$$N_{\text{máx}} = 11,73 \approx 12$$

Neste caso, não se pode ultrapassar os 10 módulos PV ligados em série, a fim de não ultrapassar a tensão máxima permitida em DC à entrada do inversor.

#### **Número Mínimo de Módulos PV por Fileira**

O número mínimo de módulos PV por fileira será dado pela tensão mínima de funcionamento do inversor com um valor de temperatura de 10°C ( $U_{oc}$  a 10°C).

A tensão mínima de funcionamento do inversor ocorre quando se atinge a temperatura máxima de funcionamento esperada para 70°C e que se calcula pela seguinte fórmula [92]:

$$U_{\text{MPP}} (70^{\circ}\text{C}) = \left(1 + \frac{45^{\circ}\text{C} \times \Delta V(\%)}{100}\right) \times U_{oc} \quad (7.4)$$

onde:

$U_{\text{MPP}}$  → Tensão no ponto máximo de potência em relação a temperatura de 70°C

Substituindo os valores na equação (7.4), tem-se:

$$U_{\text{MPP}} (70^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{45^{\circ}\text{C} \times (-157,4 \times 10^{-3} \text{V}/^{\circ}\text{C})}{100}\right) \times 57,3$$

$$U_{\text{MPP}} (70^{\circ}\text{C}) = 61,35 \text{ V}$$

Desta forma, o número mínimo de módulos PV ligados em série seria [92]:

$$N_{\min} = U_{\min.\text{inv}}/U_{\text{MPP}} \quad (7.5)$$

Onde:

$N_{\min}$  → Número mínimo de módulos ligados em série

$U_{\min.\text{inv}}$  → Tensão mínima do inversor

Substituindo os valores na equação (7.5), tem-se:

$$N_{\min} = 380/61,35$$

$$N_{\min} = 6,19 \approx 6$$

Neste caso, deve-se escolher um valor acima de 6, como 7, 8 e 9, para garantir que a tensão mínima de arranque do inversor seja garantida.

### 7.2.5. Cálculo para Determinar o número de Fileiras em Paralelo

Para determinar o número de fileiras em paralelo do sistema PV, deve se levar em conta os seguintes fatores [92]:

- Corrente máxima por fileira -  $I_{\text{máx.fil}} = I_{\text{mpp}} = 6,02 \text{ A}$
- Corrente máxima do inversor -  $I_{\text{máx.inv}} = I_{\text{máx}} = 36 \text{ A}$ ;

$$N_p = I_{\text{máx.inv}} / I_{\text{máx.fil}} \quad (7.6)$$

onde:

$N_p$  → Número de fileiras em paralelo

Substituindo os valores na equação (7.6), obtém-se:

$$N_p = 36 / 6,02$$

$$N_p = 6$$

O número que o sistema pode ter a nível de fileiras em paralelo é de 6.

### 7.2.6. Configuração do Gerador PV

No que se refere à configuração do gerador PV, apresentam-se os seguintes dados calculados anteriormente [92].

- Número máximo de módulos em série - 12
- Número mínimo de módulos em série - 6
- Número máximo de fileiras em paralelo - 6

Sabendo que o número total de nódulos PVs é de 15, pretende-se adotar como configuração do gerador PV o seguinte:

Colocar o gerador PV com 2 fileiras, uma de 8, e outra de 7 módulos PVs, ambas as fileiras em série.

Diante disso, a corrente para uma fileira será de 6,02 A e para 2 fileiras em série será:

$$2 \times 6,02 = 12,4 \text{ A}$$

$$I_{\text{máx}} = 36 \text{ A} > 12,4 \text{ A}$$

A configuração apresentada cumpre com os requisitos de tensão e de corrente, logo, são soluções admissíveis. A instalação do sistema terá as seguintes características, Tabela 7.1:

*Tabela 7.1 - Características da Instalação do Sistema PV*

Potência Máxima do Gerador PV	Número de Módulos × Potência por módulo	Configuração	Inversor Central
5 kWp	15×345	2 fileiras, uma de 8, e outra de 7 módulos PV	$P_{\text{nom}} = 12 \text{ kW}$

### 7.2.7. Dimensionamento da Cablagem para Sistemas PV

A cablagem é formada por elementos condutores que são percorridos por elétrons através dela. Através da passagem da corrente nos condutores (por melhor que seja a condutividade eléctrica do material), irão ocorrer perdas que geram calor e que se traduzem em quedas de tensão. A queda de tensão dependerá da resistência do condutor e da intensidade de corrente que o percorre.

Para determinar a queda de tensão nos cabos, é utilizado a seguinte fórmula [92]:

$$\Delta V = R_c * I \quad (7.7)$$

onde:

$\Delta V$  → Queda de tensão num condutor, em (V);

$R_c$  → Resistência do condutor do cabo, em ( $\Omega$ );

$I$  → Intensidade de corrente que percorre o cabo, em (A).

Para determinar a resistência do condutor é necessário conhecer a resistividade do material, a secção e o comprimento do mesmo, e é determinada através da seguinte fórmula [92]:

$$R_c = \rho * \frac{L}{S} \quad (7.8)$$

em que:

$\rho$  → resistividade do material que constitui o condutor, em ( $m/\Omega \text{ mm}^2$ );

$L$  → Comprimento do cabo, em (m);

$S$  → Secção do cabo, em ( $\text{mm}^2$ ).

Em corrente contínua, a polaridade positiva e negativa dos condutores, devem ser independentes e estes não devem ser agrupados num só cabo.

Os cabos são fornecidos nas seguintes cores: vermelho, azul e preto, permitindo assim fácil compreensão do desenho da instalação. O cabo DC estabelece a ligação entre os módulos PVs, o inversor e a bateria.

Nas instalações PV, as quedas de tensão em DC ( $\Delta V\%$ ) permitidas são as seguintes [92]:

- Quedas de tensão junto do gerador PV e o inversor - 1 ou 3 %;
- Quedas de tensão entre o regulador e a bateria - 1 %;
- Quedas de tensão entre o regulador e inversor - 1 %;
- Quedas de tensão entre o inversor e a bateria - 1 %;
- Quedas de tensão entre o inversor e equipamentos (carga) - 3 %.

### Cabo de ligação DC

Na norma europeia IEC 60364-7-712 é indicado que o cabo principal DC deverá suportar até 1,25 vezes a  $I_{cc}$  do gerador sob condições CTS (condições de temperatura standard). A secção do cabo é determinada em função da sua corrente máxima admissível, obedecendo à seguinte regra [92]:

$$I_{m\acute{a}x} \geq 1,25 * I_{cc} \quad (7.9)$$

em que:

$I_{m\acute{a}x}$  → Corrente máxima admissível pelo módulo PV;

$I_{cc}$  → Corrente de curto circuito do módulo PV.

Dado que a  $I_{cc}$  do módulo PV seleccionado é de 6,39 A, substituindo o valor na equação (7.9), obtém-se:

$$I_{m\acute{a}x} \geq 1,25 * 6,39 \text{ A}$$

$$I_{m\acute{a}x} \geq 8 \text{ A}$$

Para o dimensionamento do cabo principal, pretende-se utilizar um cabo com 15 m para poder interligar os módulos PVs com o inversor, e 4 m para interligar o inversor à rede eléctrica pública, assumindo um fator de perdas na linha de 1 % para as condições de referência CTS. Utiliza-se a fórmula seguinte para determinar o valor da secção transversal do cabo [92]:

$$S_{DC} \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{2 * L_{DC} * (I_n * I)}{(FP * P_{gerador} - Perdas) * \sigma} \quad (7.10)$$

em que:

$S_{DC}$  → Secção do cabo principal DC do gerador PV, em (mm<sup>2</sup>);

$L_{DC}$  → Comprimento do cabo principal DC, em (m);

$I_n$  → Corrente admissível do cabo principal DC, em (A);

$FP$  → Factor de perdas na linha (normalmente na ordem de 1 a 2 %);

$P_{gerador}$  → Valor da potência do sistema PV, em (W);

$Perdas$  → Valor de perdas no cabo principal DC;

$\sigma$  → Condutividade do condutor (o valor da  $\sigma$  do cobre é de 56 m/Ω mm<sup>2</sup>; alumínio é de 34 m/Ω mm<sup>2</sup>).

Substituindo os valores na equação (7.10), obtém-se:

$$S_{DC} (\text{mm}^2) = \frac{2 \cdot 15 \cdot (12,04)^2}{(0,01 \cdot 5000 - 0,07) \cdot 56}$$
$$S_{DC} (\text{mm}^2) = 1,56 \text{ mm}^2$$

Após determinar o valor da secção transversal do condutor, arredonda-se o valor, para o maior valor aproximado das secções transversais padronizadas existentes no mercado, neste caso, será de 2,5 mm<sup>2</sup>.

As perdas no cabo serão determinadas através da seguinte fórmula [92]:

$$\text{Perdas}_{DC} (W) = \frac{2 \cdot L_{dc} \cdot (I_n \cdot I)}{S_{dc} \cdot \sigma} \quad (7.11)$$

Substituindo os valores, tem-se:

$$\text{Perdas}_{DC} (W) = \frac{2 \cdot 15 \cdot (12,04)^2}{2,5 \cdot 56}$$
$$\text{Perdas}_{DC} (W) = 31 \text{ W}$$

É recomendável que se utilizem cabos isolados monopolares para os condutores positivos e negativos, de forma a alcançar uma eficaz proteção de terra e contra curto-circuito.

### **Cabo de ligação AC**

O cabo que liga o inversor à rede eléctrica pública deve ser dimensionado assumindo uma queda de tensão máxima admissível na linha de 3 % relativamente à tensão da rede.

Para determinar a secção transversal do cabo AC que liga o inversor e a rede eléctrica pública, utiliza-se a seguinte fórmula [92]:

$$S_{AC} (\text{mm}^2) = \frac{2 \cdot L_{AC} \cdot I_n \cdot \cos \varphi}{3 \% \cdot U_n \cdot \sigma} \quad (7.12)$$

em que:

$S_{AC}$  → Secção do cabo de ligação do ramal;

$L_{AC}$  → Comprimento do cabo do ramal;

$I_n$  → Corrente nominal AC do inversor;

$\cos \varphi$  → Fator de potência (normalmente entre 0,8 e 1);

$U_n$  → Tensão nominal AC da rede (normalmente 230 VAC em monofásico e 400 VAC em trifásico);

$\sigma$  → Condutividade do condutor (o valor da  $\sigma$  do cobre é de 56 m/Ω mm<sup>2</sup>; alumínio é de 34 m/Ω mm<sup>2</sup>).

**Para o sistema Monofásico:**

Substituindo os valores na equação (7.12), obtém-se:

$$S_{AC} \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{2*4*36*0,8}{0,03*230*56}$$

$$S_{AC} \text{ (mm}^2\text{)} = 0,60 \text{ mm}^2$$

Neste caso, escolhe-se um condutor com a secção de 2,5 mm<sup>2</sup>.

**Para o sistema Trifásico:**

Substituindo os valores na equação (7.12), tem-se:

$$S_{AC} \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{\sqrt{3}*4*36*0,8}{0,03*400*56}$$

$$S_{AC} \text{ (mm}^2\text{)} = 0,30 \text{ mm}^2$$

Para ambos casos, utiliza-se o condutor com a secção transversal de 2,5 mm<sup>2</sup>.

Normalmente, para instalações PV até 5 kWp, utilizam-se secções transversais até 6 mm<sup>2</sup> [92].

As perdas no cabo serão determinadas através da seguinte fórmula [92]:

$$\text{Perdas}_{AC} \text{ (W)} = \frac{2*N*L_{ac}*(I_n*I)*\cos\varphi}{S_{ac}*\sigma} \quad (7.13)$$

Substituindo os valores na equação (7.13), tem-se:

$$\text{Perdas}_{AC} \text{ (W)} = \frac{2*2*4*(36)^2*0,8}{2,5*56}$$

$$\text{Perdas}_{AC} \text{ (W)} = 118,5 \text{ W}$$

No dimensionamento dos cabos de um sistema PV, os módulos PVs devem estar o mais próximos possível das baterias, com a finalidade de minimizar a secção transversal do cabo, e evitar muitas perdas de energia.

### **7.2.8. Dimensionamento e seleção de Banco de Baterias**

No dimensionamento de banco de baterias tem de se ter em conta os limites de tensão de carregamento da bateria.

Para que as baterias possam carregar devidamente, a tensão de saída do inversor tem de ser igual ou superior à tensão de carregamento das baterias. Porém, estas baterias estarão ligadas em série e em paralelo, de forma a alcançar a tensão de 48 VDC que será fornecida pelo inversor, para posteriormente alimentarem as bicicletas. A bateria selecionada é da marca ROLLS S600Ah C100 12V e é utilizada em sistemas solares para acumular energia produzida pelos módulos PVs.

Esta bateria faz o aproveitamento energético da potência produzida através dos módulos PVs para acumulá-lo e poder fornecer electricidade à carga quando desejado.

Para esta dissertação, pretende-se utilizar 8 baterias, na qual serão conectadas 4 baterias em série, e 4 em paralelo, formando assim um circuito misto.

### **7.2.9. Proteção de Sistema PV**

Nos sistemas PV onde exista a interligação à rede eléctrica pública, exige-se um sistema de proteção para melhor operação da instalação. Assim sendo, os elementos de proteção são instalados na caixa de junção geral do gerador PV, contendo ainda terminais, dispositivos de interrupção, fusíveis, díodos de bloqueio, etc.

Sabendo que a estrutura de suporte dos módulos PVs é metálica, por isso aconselha-se estabelecer as ligações dessa mesma estrutura à terra, por uma questão de segurança, desviando assim as sobretensões para a terra. Esta é a principal razão pela qual a ligação do condutor de terra é feita na caixa de junção geral. Os terminais positivo e negativo do cabo devem ser claramente separados no interior da caixa de junção. O eléctrodo de terra deverá ser constituído por fitas de cobre ou aço galvanizado enterradas a mais de 0,8 m da superfície do solo, ou que possuam uma superfície de contacto à terra de, no mínimo, 1 m<sup>2</sup> [93]-[92].

### **7.2.10. Contador de Energia do Sistema PV**

Para a contagem de energia produzida, é utilizado normalmente um contador bidirecional, com a função de registar o fluxo de energia nos dois sentidos. Ou seja, o contador regista o consumo de energia, e também a quantidade de energia que está a ser injetada na rede eléctrica pública. E este contador deve ser instalado num lugar passível de ser visualizado. Além deste contador permitir conhecer o valor de energia produzida pelo sistema PV, permite também identificar a eventualidade de possíveis defeitos.

Em suma, o contador bidirecional mede a quantidade de energia entregue à rede eléctrica pública e a quantidade de energia consumida a partir da rede [92].

### 7.3. Avaliação Financeira do Projeto

Após a descrição de todo trabalho, faz-se a avaliação financeira deste projeto, que tem como finalidade apresentar o custo de implementação de todos os dispositivos ou equipamentos que serão incorporados neste sistema proposto. A Tabela 7.2 mostra essa avaliação.

*Tabela 7.2 - Avaliação do Financeira do Projeto*

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (€)	PREÇO GLOBAL (€)	CUSTO TOTAL (€)
Painéis Fotovoltaicos	15	576,44	8 646,60 €	78 265,85 €
Inversor	1	4 581,75	4 581,75 €	
Baterias	8	860,00	6 880,00 €	
Bicicletas	50	1 163,15	58 157,50 €	

Neste estudo de avaliação financeira, apresenta-se alguns elementos fundamentais do projeto. Todavia, não foram mencionados todos equipamentos que serão incorporados no sistema, mas apenas os que fazem parte do controlo e conversão de energia, não contemplando o sistema PV.

A estação terá a capacidade para parking de 4 bicicletas para o abastecimento simultâneo das baterias.

Após ter feita esta análise, conclui-se que em questões económicos, é um investimento excelente e que também tem um fundamental contributo no que diz respeito à qualidade do meio ambiente.

## Conclusão

O dimensionamento de um sistema PV é uma tarefa muito importante, porque um dimensionamento incorreto poderá provocar danos graves, tanto do ponto de vista técnico como económico. Para que tal não aconteça, é necessário respeitar os parâmetros de dimensionamento.

Com a metodologia de cálculo desenvolvida, foi possível dimensionar o inversor a utilizar no sistema proposto, tendo em consideração a potência máxima do sistema PV. Além disso, o correto dimensionamento dos cabos é muito importante para o bom funcionamento de qualquer instalação PV, visto que sempre poderão ocorrer quedas de tensão que deverão ser evitadas. Após determinar a secção transversal dos cabos, verificou-se que é preciso evitar maiores distâncias entre a ligação dos vários elementos do sistema, de maneira a evitar perdas de energia. Os módulos PVs devem estar o mais próximo das baterias, a fim de minimizar a secção transversal do cabo, visto que a secção do cabo é diretamente proporcional à distância do cabo.

Relativamente à adoção da metodologia de cálculo matemático, foi possível efetuar um processo de dimensionamento bastante preciso.

Os resultados alcançados para o dimensionamento do sistema PV cumpre com os requisitos para implementação do sistema proposto.

Finalmente se pode concluir que o projeto é um excelente investimento económico e que contribui também para a qualidade ambiental.

---

# CAPÍTULO

# 8

---

## Conclusão Geral e Sugestões de Trabalhos Futuros



## 8. Conclusão Geral

Com base nos problemas associados aos veículos de combustão interna, incluindo os danos ao meio ambiente causados por suas emissões de gases na atmosfera, surgiu um grande interesse de encontrar alternativas ao uso de gasolina/gasóleo, criando assim os veículos eléctricos, de maneira a reduzir substancialmente o índice de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

O uso de veículos movido a duas rodas tem sido muito notável em todo o mundo, e tem diminuído bastante a frequência da utilização de veículos movidos a combustão interna, por ser um veículo de fácil transporte de pessoas em cidades onde o congestionamento seja um problema enorme para os cidadãos.

Atualmente, novas tecnologias têm sido desenvolvidas em EBs, permitindo assim a criação de EB com diferentes tipos de modelos. As EBs têm ganho um espaço no mercado nos últimos anos, impulsionado pelo seu baixo preço, tamanho reduzido, baixo consumo de energia, sem emissões, quando comparados com os veículos de combustão interna.

Espera-se um grande crescimento de venda deste tipo de veículo até 2050, visto que o grande desafio das indústrias de VE é reduzir significativamente a utilização de veículos que são os grandes responsáveis na poluição ambiental. A utilização das EB reduz consideravelmente a quantidade de emissão de gases poluentes para a atmosfera, que são os causadores do aquecimento global em todo o planeta.

Portugal, tem sido um dos países da EU que tem aderido em massa à utilização das bicicletas (convencionais), e com o grande rumo para a substituição dessas por EBs.

O uso de EB facilita o trajeto em grandes cidades onde o congestionamento é um grande problema, e não só, mas também em cidades onde não há problemas de congestionamento no trânsito. A facilidade com que pode fluir no trânsito faz dela uma boa alternativa no que diz respeito à rapidez de mobilidade.

É um meio de transporte de fácil locomoção, sem exigência, por enquanto, de registo de propriedade, seguro ou licença de condução para poder utilizar uma.

O grande benefício de possuir uma bicicleta eléctrica está relacionado diretamente com o bem-estar das pessoas e com a qualidade do ambiente.

Faz-se necessário a criação de postos de carregamento para EVs, porque eles são os responsáveis de reabastecimento das baterias dos veículos. É necessário haver um local físico onde as baterias possam ser recarregadas quando estas estejam esgotadas ou perto do esgotamento. Com o desenvolvimento de tecnologia dos conversores DC/DC tornou-se possível a criação e a implementação dos postos de carregamento para EVs, possibilitando o carregamento das baterias.

A função da bateria é a de converter a energia química em energia eléctrica, para poder alimentar o motor que dá o impulso para a bicicleta. É um dispositivo fundamental nos EV, visto que é a única fonte que alimenta o motor e que permite a locomoção do veículo. É através da

bateria que se disponibiliza toda a energia necessária para mover o EV. Contudo, o tempo de carregamento das baterias em EVs tem sido um grande problema até hoje.

As empresas responsáveis no fabrico das baterias dispõem-se ao desenvolvimento de tecnologias de construção das mesmas, de forma a aumentar a sua autonomia, visto que este é um dos grandes problemas que existe nas baterias em EV.

O preço, peso e autonomia são os requisitos fundamentais para avaliar o desempenho de uma bateria. A bateria que tem melhores requisitos é a bateria baseada em iões de lítio, quando comparada com os outros tipos de baterias, tendo apenas como desvantagem o seu elevado preço. Assim, as baterias baseadas em tecnologia de iões de lítio continuam a dominar o mercado na indústria automóvel, EBs, laptops, telemóveis, etc.

Em países como a Alemanha, China, Japão, Espanha e EUA, foi incorporada a energia solar à sua matriz energética e implantaram-se programas nacionais de incentivos a essa fonte, com legislações em conformidade com as especificidades locais e da tecnologia.

Portugal tem apostado na implementação de energias renováveis, promovendo a utilização de fontes de energia endógenas. Isto leva à diversificação das fontes de energia primária que contribuem para o aumento da segurança energética nacional.

A geração de energia PV é uma fonte de energia renovável, e é um recurso inesgotável e sem emissão de gases poluentes para o meio ambiente, sendo estes os causadores do aquecimento global.

Estudos realizados, preveem que no ano de 2050, 50% da geração de energia no mundo virá de fontes renováveis. Dessa percentagem, 25% serão supridos pela energia solar PV.

Para que a energia produzida pelos módulos PVs possa ser consumida, utilizam-se os inversores para converterem a energia DC produzida pelos módulos PVs para AC, permitindo assim o consumo de energia para o funcionamento dos dispositivos eléctricos e electrónicos.

Novas tecnologias têm sido estudadas para o desenvolvimento das células PVs, de forma a tornar o sistema mais barato para produção e venda de energia eléctrica. Uma das grandes apostas das empresas produtoras de módulos solares PVs está no aumento da eficiência de conversão dos módulos PVs, visto que até agora, a eficiência máxima dos módulos PVs é de 25%.

Num futuro próximo, espera-se ter disponível no mercado a célula solar que opera também como inversor. Sendo esta uma grande descoberta e um avanço significativo nos últimos anos na tecnologia das células solares utilizadas nos painéis PVs.

Finalmente, os parâmetros calculados para dimensionar o nosso sistema PV permitiu-nos obter resultados satisfatórios para o bom funcionamento do sistema proposto.

O trabalho apresentado não constitui um ponto de chegada no estudo de bicicletas eléctricas, mas ainda pode e deve ser melhorado para trabalhos futuros. Existem inúmeros aspetos que podem ser modificados, ou até mesmo completados, nesta dissertação.

Este projeto pode dar origem a novas ideias de desenvolvimentos na área do carregamento solar de bicicletas eléctricas.

## Sugestões de Trabalhos Futuros

Com base os resultados alcançados nesta dissertação, pode-se concluir que os equipamentos selecionados para serem implementados no projeto devem respeitar todos os parâmetros de dimensionamento apresentados, de maneira a permitir que a bicicleta eléctrica funcione em condições adequadas. Porém, é necessário efetuar algumas alterações no desempenho geral do sistema, de forma a optimizá-lo. Recomenda-se a abordagem dos seguintes aspetos:

- Instalar tomadas DC para alimentar as bicicletas, uma vez que, utilizando tomadas em DC não será necessário investir no sistema de conversão electrónica de energia, que permite a conversão de energia para poder alimentar os veículos;
- Utilizar microcontroladores nas bicicletas, para efetuar a monitorização, uma vez que, com a utilização do microcontrolador poder-se-á conhecer a localização da bicicleta;
- Implementar o uso de baterias de iões de lítio para o sistema de armazenamento de energia, gerada a partir dos módulos fotovoltaicos. Sendo que, a utilização de baterias de iões de lítio ajuda a diminuir ou até mesmo eliminar o processo de manutenção das baterias;
- Construção de estações de troca de baterias para bicicletas eléctricas, de forma a diminuir o período de reabastecimento das mesmas.



### 8.1.1. Referências Bibliográficas

- [1] Wikipédia, “History of the electric vehicle.” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle). [Accessed: 08-May-2018].
- [2] ThoughtCo, “A History of Electric Vehicles.” [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>. [Accessed: 08-Jun-2018].
- [3] Diogo Alexandre Miranda Moreira, “Posto de Carregamento de Veículos Eléctricos com Painel Fotovoltaico, Sistema de Armazenamento e Ligação à Rede Eléctrica,” Universidade Técnica de Lisboa, 2013.
- [4] José Carlos Marques da Silva, “Sistema de Mobilidade Elétrica de Duas Rodas de Elevada Eficiência e Performance,” Instituto Politécnico de Viseu, 2013.
- [5] Economia, “Dependência de Portugal da energia comprada lá fora atinge 2º melhor valor da década.” [Online]. Available: <http://expresso.sapo.pt/economia/2017-06-30-Dependencia-de-Portugal-da-energia-comprada-la-fora-atinge-2-melhor-valor-da-decada>. [Accessed: 08-May-2018].
- [6] Emanuel Dâmaso Rodrigues Brinquete Proença, “A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal: Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento,” Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [7] R. Pinto, “Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Eléctricos numa Estação de Carregamento,” Universidade da Beira Interior, 2014.
- [8] V. P. Gonzales, “Projeto de uma bicicleta elétrica,” Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- [9] C. A. Petry, F. Alberto, B. Batista, J. Lacerda, M. Valério, and M. Villaça, “Posto de recarga gratuita para bicicletas elétricas à partir da energia solar . (1),” *SEPEI 2013*, no. 1, pp. 4-7, 2012.
- [10] eCycle, “Bikes elétricas: conheça história, características, benefícios e problemas.” [Online]. Available: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/41-pegue-leve/2849-bikes-eletricas-historia-mercado-expansao-motor-caracteristicas-vantagens-praticidade-pedalar-trabalho-limitacao-fisica-custo-economia-acelerador-integrado-separado-solar-movimento-beneficios-problemas.html>. [Accessed: 15-Feb-2018].
- [11] T. Tang, X. Luo, J. Zhang, and L. Chen, “Modeling electric bicycle ’ s lane-changing and retrograde behaviors,” *Physica A*, vol. 490, pp. 1377-1386, 2018.

- [12] Zoom, “Como funciona a bicicleta elétrica.” [Online]. Available: <https://www.zoom.com.br/bicicleta/deumzoom/como-funciona-a-bicicleta-eletrica>. [Accessed: 15-Feb-2018].
- [13] Bikemagazine, “Guia das bicicletas elétricas.” [Online]. Available: <http://www.bikemagazine.com.br/2012/12/guia-das-bicicletas-eletricas/>. [Accessed: 15-Feb-2018].
- [14] D. da República, “Decreto-Lei n 44/2005,” vol. 2005, Portugal, pp. 2-4, 2013.
- [15] B. Joel, “Desenvolvimento de um Posto de Carregamento Lento com BMS e Interface com o Cockpit para o CEPIUM,” Universidade do Minho, 2013.
- [16] O. P. da Bicicleta, “O que Considerar ao comprar a sua E-bike.” [Online]. Available: [http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?o\\_que\\_considerar\\_ao\\_comprar\\_sua\\_ebike&id=4455](http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?o_que_considerar_ao_comprar_sua_ebike&id=4455). [Accessed: 01-Mar-2018].
- [17] R. J. F. Araújo, “Desenvolvimento de uma Bicicleta Elétrica,” Universidade do Minho, 2012.
- [18] J. Zhao and Y. Y. July, “Brushless DC Motor Fundamentals Application Note,” 2014. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/286038114/Brushless-DC-Motor-Fundamentals-pdf>. [Accessed: 08-Jun-2018].
- [19] Gooble.pt, “Brush Motor.” [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=brush+motor&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim5Yv-2pzaAhVE6xQKHAKADdgQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgdii=MNZR-MDCQOzgAM:&imgsrc=j7ZZIcMRZuJyZM](https://www.google.pt/search?q=brush+motor&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim5Yv-2pzaAhVE6xQKHAKADdgQ_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgdii=MNZR-MDCQOzgAM:&imgsrc=j7ZZIcMRZuJyZM): [Accessed: 02-Apr-2018].
- [20] Gooble.pt, “Motor DC com Escova da Bicicleta Elétrica.” [Online]. Available: [https://www.google.com/search?q=motor+com+escova+de+bicicleta+elétrica&client=firefox-b&tbn=isch&tbs=rimg:CVV0ro\\_1Hz5RXIjgzHvR8VFWqo-Atz8VnGPo1TJ7qtwOadON9C0T0iWbHzszeSyL0E81YnUFv3ueJoRIP8xcikPqWyoSCTMe9HxUUdaqEUbHk1yuHEhNKhIj4C3PxWcY-gRRseTXK4cSE0qEgnVMnuq3A5p0xFvMoYrRtUF2ioSCY30LRPSJZsfEQ\\_1Ulc5t5k0uKhIJOzn5LlvQTzUR4fSHA2nLe0sqEglidQW\\_1e54mhBGgHkjmzegrOSoSCUg\\_1zFyKQ-pbEYrfJDWcSHL4&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjLsuKnxfvaAhWMuBQKHS6qChUQ9C96BAGBEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=3Z\\_eLnAuV9ELTM:&imgsrc=lbodRTx2kMYITM](https://www.google.com/search?q=motor+com+escova+de+bicicleta+elétrica&client=firefox-b&tbn=isch&tbs=rimg:CVV0ro_1Hz5RXIjgzHvR8VFWqo-Atz8VnGPo1TJ7qtwOadON9C0T0iWbHzszeSyL0E81YnUFv3ueJoRIP8xcikPqWyoSCTMe9HxUUdaqEUbHk1yuHEhNKhIj4C3PxWcY-gRRseTXK4cSE0qEgnVMnuq3A5p0xFvMoYrRtUF2ioSCY30LRPSJZsfEQ_1Ulc5t5k0uKhIJOzn5LlvQTzUR4fSHA2nLe0sqEglidQW_1e54mhBGgHkjmzegrOSoSCUg_1zFyKQ-pbEYrfJDWcSHL4&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjLsuKnxfvaAhWMuBQKHS6qChUQ9C96BAGBEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=3Z_eLnAuV9ELTM:&imgsrc=lbodRTx2kMYITM): [Accessed: 10-May-2018].
- [21] T. Shi, Y. Guo, P. Song, and C. Xia, “A New Approach of Minimizing Commutation Torque Ripple for Brushless DC Motor Based on DC - DC Converter,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 10, pp. 3483-3490, 2010.

- [22] Google.pt, “Brushless dc Motor.” [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=brushless+dc+motor&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim3LKc3pzaAhXrIMAKHVIZDMUQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgrc=kD6i6tN5Uo2yIM](https://www.google.pt/search?q=brushless+dc+motor&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwim3LKc3pzaAhXrIMAKHVIZDMUQ_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgrc=kD6i6tN5Uo2yIM): [Accessed: 03-Apr-2018].
- [23] Google.pt, “Brushless DC Motor.” [Online]. Available: [https://www.google.com/search?q=brushless+dc+motor+for+electric+bicycle&client=firefox-b&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjA\\_XLx\\_vaAhUE8ywKHS14CusQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgrc=RnWkWX5tImYLJM](https://www.google.com/search?q=brushless+dc+motor+for+electric+bicycle&client=firefox-b&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjA_XLx_vaAhUE8ywKHS14CusQ_AUICigB&biw=1366&bih=654#imgrc=RnWkWX5tImYLJM): [Accessed: 10-May-2018].
- [24] fnac, “20”, Bicicleta Elétrica Tucano Monster 20 Fat Bike.” [Online]. Available: <https://www.fnac.pt/mp8835414/Bicicleta-Eletrica-Tucano-Monster-20-Fat-Bike-20#>. [Accessed: 19-Feb-2018].
- [25] Ebike, “Bicicletas Elétricas \ Conor 6700 (500W).” [Online]. Available: <http://www.e-bike.com.pt/?mod=bicicletas-eletricas>. [Accessed: 11-Dec-2017].
- [26] Decathlon, “Becicletas elétricas.” [Online]. Available: [https://www.decathlon.pt/bicicleta-eletrica-elops-940-e-id\\_8379378.html](https://www.decathlon.pt/bicicleta-eletrica-elops-940-e-id_8379378.html). [Accessed: 15-Feb-2018].
- [27] Dourobike, “Bicicleta elétrica.” [Online]. Available: <http://www.dourobike.com/produtos/kalkhoff-pro-connect-i9/>. [Accessed: 16-Feb-2018].
- [28] Ebike, “Configurador Kit Conversão Bicicleta Elétrica.” [Online]. Available: <http://www.e-bike.com.pt/?mod=configurador-kit-bicicleta-eletrica>. [Accessed: 19-Feb-2018].
- [29] NextBig Future, “Electric bikes could grow from 200 million today to 2 billion in 2050.” [Online]. Available: <https://www.nextbigfuture.com/2017/04/electric-bikes-could-grow-from-200-million-today-to-2-billion-in-2050.html>. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [30] Act Smart, “Electric bikes could grow to 2 billion by 2050.” [Online]. Available: <https://www.actsmart.biz/news/?id=2094&name=Electric+bikes+could+grow+to+2+billion+by+2050>. [Accessed: 08-Jun-2018].
- [31] ZAP, “Portugal é o 3.º maior produtor de bicicletas da Europa.” [Online]. Available: <https://zap.aeiou.pt/portugal-e-o-3-o-maior-produtor-de-bicicletas-da-europa-77918>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [32] Calendário-Portugal, “Dia Mundial da Bicicleta.” [Online]. Available: <https://www.calendarr.com/portugal/dia-mundial-da-bicicleta/>. [Accessed: 19-Mar-2018].

- [33] J. de Negócios, “Portugal é o maior exportador de bicicletas da União Europeia.” [Online]. Available: <http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/transportes/detalhe/portugal-e-o-maior-exportador-de-bicicletas-da-uniao-europeia>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [34] ZAP, “Portugal também é campeão europeu na exportação de bicicletas.” [Online]. Available: <https://zap.uei.pt/portugal-tambem-campeao-europeu-na-exportacao-bicicletas-162882>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [35] AutoClube, “Bicicleta Eléctrica Nasce em Aveiro.” [Online]. Available: <http://autoclube.acp.pt/atualidade/entity/bicicleta-eletrica-portuguesa-nasce-em-aveiro>. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [36] F. M. Shahir, E. Babaei, and M. Farsadi, “A New Structure for Nonisolated Boost DC - DC Converter  $\pi$ ,” *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 26, no. 1, pp. 1-26, 2017.
- [37] L. G. Rodrigues, “Estudo e Desenvolvimento de um Conversor DC-DC de Topologia Buck para Aplicação Aeroespacial,” Universidade de São Paulo, 2007.
- [38] F. de E. da U. do Porto, “Estado da arte : conversores Conversores,” Universidade do Porto.
- [39] L. J. O. da Cruz, “Inversor de Tensão Monofásico em Ponte Completa a 50 Hz e 50 VA,” Universidade do Minho, 2011.
- [40] W. P. R. Ned Mohan, Tore M. Undeland, *Power Electronics - Converters, Applications and Design*, 1989th ed. Canada: 1995.
- [41] J. M. G. dos Santos, “Conversor DC-DC com MPPT para gerador termoelétrico,” Universidade do Minho, 2012.
- [42] C. A. Petry and I. Barbi, “Introdução aos Conversores CC-CC,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- [43] M. Çelebi, “Efficiency optimization of a conventional boost DC / DC converter,” *Electr. Eng.*, 2017.
- [44] S. Roberts, *DC / DC Book Of Knowledge*, 2014th ed. Austria: 2014.
- [45] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Third Edit. Florida: 2011.
- [46] Y. Shen, “A Bidirectional Resonant DC - DC Converter Suitable for Wide Voltage Gain Range,” *IEEE Trans. POWER Electron.*, vol. 33, no. 4, pp. 2957-2975, 2018.
- [47] H. R. Karshenas, H. Daneshpajoo, and A. Safaee, “Bidirectional DC-DC Converters for Energy Storage Systems,” *22 September 2011*, Shanghai, pp. 162-178, 2011.
- [48] D. Francisco, C. Moniz, and C. D. B. Isolado, “Conversor dc-dc bidirecional isolado ressonante aplicado a veículos eléctricos,” Universidade de Coimbra, 2015.

- [49] J. Jiang, Y. Bao, and L. Y. Wang, "Topology of a Bidirectional Converter for Energy Interaction between Electric Vehicles and the Grid," *Energies* 2014, pp. 4858-4894, 2014.
- [50] M. A. G. Jão Tavares Pinho, "Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos," Março-2014, Rio de Janeiro.
- [51] J. Murta, Cristina Sousa, "Baterias," Instituto Superior Politécnico de Viseu.
- [52] B. X. Hu, C. Zou, C. Zhang, and Y. Li, "Technological Developments in Batteries," 17 August 2017, no. August, 2017.
- [53] N. Miguel and C. Pereira, "Simulação de Regimes de Carga e Descarga em Baterias," Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016.
- [54] Gooble.pt, "Bateria iões de Lítio." [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=bateria+de+iões+de+lítio&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj10-F8cjZAhXGUhQKHR3yBPYQ\\_AUICigB#imgdii=GO-nmv1x6DbyNM:&imgrc=f9hJ3mptGKJFyM](https://www.google.pt/search?q=bateria+de+iões+de+lítio&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj10-F8cjZAhXGUhQKHR3yBPYQ_AUICigB#imgdii=GO-nmv1x6DbyNM:&imgrc=f9hJ3mptGKJFyM): [Accessed: 26-Feb-2018].
- [55] Helder Miguel Gonçalves Barbosa, "Sistema de Carregamento Externo de Baterias de Veículos Elétricos com Interface a Fonte de Energia Renovável," Universidade do Minho, 2013.
- [56] Gooble.pt, "Bateria de Polímero de Lítio." [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=bateria+de+Polímero+de+Lítio&client=firefox-b&tbn=isch&tbs=rimg:CUE04yVGXK0vjgmDnRBoGyRbVf\\_15h4CA5ZffnMOWhZelGYn91hxkgSawqK3ZhGvAp78GjxrN3IqyU7wYf9P3W3IGioSCSYOdEGgbJFtEcz4nCWcyFCJKhJv\\_1\\_1mHgIDl8ROD00RueDPTkqEgl-cw5aFl4gZhHMWn\\_1Oj-J8\\_1yoSCSf3WHGsbJrCEdhhMD-j2-sbKhIJordmEa8CnvwR0rxTlsjhUv0qEgkaPGs3cirJThE0e3HtOjKt\\_1yoSCfBh\\_10\\_1dbcgaEzn uSSXMvdNw&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwi20Max45baAhUIORQKHffNDpwQ9C96BAgAEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=kVGmFJ4xOcaRsM:&imgrc=8GH\\_T91tyBobWM](https://www.google.pt/search?q=bateria+de+Polímero+de+Lítio&client=firefox-b&tbn=isch&tbs=rimg:CUE04yVGXK0vjgmDnRBoGyRbVf_15h4CA5ZffnMOWhZelGYn91hxkgSawqK3ZhGvAp78GjxrN3IqyU7wYf9P3W3IGioSCSYOdEGgbJFtEcz4nCWcyFCJKhJv_1_1mHgIDl8ROD00RueDPTkqEgl-cw5aFl4gZhHMWn_1Oj-J8_1yoSCSf3WHGsbJrCEdhhMD-j2-sbKhIJordmEa8CnvwR0rxTlsjhUv0qEgkaPGs3cirJThE0e3HtOjKt_1yoSCfBh_10_1dbcgaEzn uSSXMvdNw&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwi20Max45baAhUIORQKHffNDpwQ9C96BAgAEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=kVGmFJ4xOcaRsM:&imgrc=8GH_T91tyBobWM): [Accessed: 31-Mar-2018].
- [57] R. Yang, R. Xiong, H. He, H. Mu, and C. Wang, "A novel method on estimating the degradation and state of charge of lithium-ion batteries used for electrical vehicles," *Appl. Energy*, vol. 207, pp. 336-345, 2017.
- [58] R. Xiong, S. Member, Y. Zhang, and S. Member, "A Double-Scale , Particle-Filtering , Energy State Prediction Algorithm for Lithium-Ion Batteries," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 2, pp. 1526-1538, 2018.
- [59] J. F. and S. M. Ricardo Velho, Miguel Beirão, Maria do Rosário Calado, José Pombo, "Management System for Large Li-Ion Battery Packs with a New Adaptive Multistage Charging Method †," *Energies*, pp. 1-21, 2017.

- [60] Pedro Miguel Faria Rosa Santos, “Sistema de carregamento de baterias sem contacto controlado através de uma bobina variável,” Universidade de Coimbra, 2016.
- [61] Gooble.pt, “Posto de carregamento de bicicletas elétricas em Portugal.” [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=posto+de+carregamento+de+bicicletas+elétricas+em+Portugal&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi027al0JzaAhWlchQKHx8kCAYQ\\_AUICygC#imgrc=w1458FSCopoNtM](https://www.google.pt/search?q=posto+de+carregamento+de+bicicletas+elétricas+em+Portugal&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi027al0JzaAhWlchQKHx8kCAYQ_AUICygC#imgrc=w1458FSCopoNtM): [Accessed: 02-Apr-2018].
- [62] Cosol: Condomínio Solar, “Conheça a Solar Bike, a bicicleta elétrica movida por energia solar.” [Online]. Available: <https://www.cosol.com.br/blog/solar-bike-a-bicicleta-eletrica-movida-a-energia-solar>. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [63] H. Beltran, E. Pérez, N. Aparicio, P. Rodríguez, and S. Member, “Daily Solar Energy Estimation for Minimizing Energy Storage Requirements in PV Power Plants,” *IEEE Trans. Sustain. ENERGY*, vol. 4, no. 2, pp. 474-481, 2013.
- [64] A. Zahedi, “Solar fotovoltaic ( PV ) energy ; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems,” *ELSEVIER*, vol. 31, pp. 711-718, 2006.
- [65] G. P. Moreda, M. C. Alonso-garcía, H. X. Wang, and M. A. Mu, “Optimum inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems based on energetic and economic considerations,” *ELSEVIER*, vol. 118, pp. 709-717, 2018.
- [66] A. enciclopédia L. Wikipédia, “Painel Solar Fotovoltaico.” [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Painel\\_solar\\_fotovoltaico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Painel_solar_fotovoltaico). [Accessed: 26-Feb-2018].
- [67] D. Jardas, “Photovoltaic systems,” *Sear - Knowl. to Invest*, 2012.
- [68] M. Hosenuzzaman, N. A. Rahim, J. Selvaraj, and M. Hasanuzzaman, “Global prospects , progress , policies , and environmental impact of solar photovoltaic power generation,” *ELSEVIER*, vol. 41, pp. 284-297, 2015.
- [69] C. F. Câmara, “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica,” Universidade Federal de Lavras, 2011.
- [70] Portugal Energia, “Sistemas Solares Fotovoltaicos,” Portugal, 2016.
- [71] J. Carneiro, “Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos,” Universidade do Minho, 2009.

- [72] Google.pt, “Sistemas Fotovoltaicos não Conectado à Rede.” [Online]. Available: [https://www.google.pt/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fenergiatecsolar.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F03%2Fcropped-energia\\_solar\\_fotovoltaica-off-grid-672x372.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fenergiatecsolar.com.br%2Fkits-completos-para-sistemas-off\\_grid-de-geracao-de-energia-solar%2F&docid=3J1KBkDOryx4eM&tbnid=5JxiPOW5AP9i5M%3A&vet=10ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA..i&w=672&h=372&client=firefox-b&bih=654&biw=1366&q=sistema+fotovoltaico+autonomo&ved=0ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA&iact=mrc&uact=8#h=372&imgdii=jlfI8gqSPcRyIM:&vet=10ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA..i&w=672](https://www.google.pt/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fenergiatecsolar.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F03%2Fcropped-energia_solar_fotovoltaica-off-grid-672x372.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fenergiatecsolar.com.br%2Fkits-completos-para-sistemas-off_grid-de-geracao-de-energia-solar%2F&docid=3J1KBkDOryx4eM&tbnid=5JxiPOW5AP9i5M%3A&vet=10ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA..i&w=672&h=372&client=firefox-b&bih=654&biw=1366&q=sistema+fotovoltaico+autonomo&ved=0ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA&iact=mrc&uact=8#h=372&imgdii=jlfI8gqSPcRyIM:&vet=10ahUKEwIU7oSH5cTZAhXGDOWKHbUCAyQMwhEKBAwEA..i&w=672). [Accessed: 26-Feb-2018].
- [73] N. C. C. Ribeiro, “Análise de Sistema Híbrido Solar: Fotovoltaico e Térmico,” Universidade de Brasília, 2016.
- [74] S. T. M. O. A. M. R. B. J. C. C. S. Klepa;, “Energia Híbrida e suas aplicações em sistemas Fotovoltáicos,” Universidade Nove de Julho.
- [75] W. N. Macêdo, Eduardo José Fagundes Barreto, João Tavares Pinho, Claudomiro Fábio Oliveira Barbosa, Edinaldo José da Silva Pereira, Hallan Max Silva Souza, Luis Carlos Macedo Blasques, Marcos André Barros Galhardo, *Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia*, 1ª Edição. Brasília: 2008, 2008.
- [76] N. Hossain, T. K. Routh, and A. Hamid, “Design and Development of a Grid Tied Solar Inverter,” *IEEE/OSA/IAPR Int. Conf. Infonnatics, Electron. Vis. Des.*, pp. 1054-1058, 2012.
- [77] Google.pt, “Sistema Fotovoltaico ligado à Rede.” [Online]. Available: <https://www.google.pt/search?q=sistema+fotovoltaico+ligado+a+rede&client=firefox-b&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj78KGYjcTZAhVJ7RQKHfxuAakQAUIcigB&biw=1366&bih=654#imgrc=jwhR4-5SI5gSIM>: [Accessed: 26-Feb-2018].
- [78] W. I. Suemitsu, “Conexão de Sistemas de Geração Fotovoltaica à Rede Elétrica,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- [79] E. C. W. M. M. Junior, “Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências,” Universidade do Paraná, 2013.
- [80] David Miguel Condesso Torres, “Sistemas Fotovoltaicos: Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projectista e de um manual de instalação,” Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.
- [81] SCRIBD, “ARTICLE 690 Solar Photovoltaic ( PV ) Systems,” 2014. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/353416068/Article-690-Photovoltaic-PV-System>. [Accessed: 08-Jun-2018].

- [82] R. Mallwitz and Bernd Engel, "Solar Power Inverters," *CIPS 2010 - IEEE*, vol. 2, pp. 16-18, 2010.
- [83] Carlos Alberto da Conceição Pereira, "Sistemas de Autoconsumo Fotovoltaico," Instituto Politécnico de Tomar.
- [84] Gooble.pt, "Solar Inverter off-grid Diagram." [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=solar+inverter+off-grid+diagram&client=firefox-b&tbm=isch&tbs=rimg:CUoQsRRkSILalJhoZpQYxoaRBYTifcz0iikMg32zJDLTb4sxRpaujUwg76IVL2KjndVqqd5lhSEQ4RwTxoRofrpSpyoSCWhmlBjGhpEFEafA5l5xH\\_1kiKhIJhOJ9zPSKKQwRglXo6xlyTTlqEgmDfbMkOVNvixH7L0SygAKQ4ioSCTFGlq6NTCDvEcDQUfIKXC4mKhIJohUvYqOd1WoRADkU4ugZ9csqEgmp3mWFIRDhHBHgDfU3uj4f\\_1yoSCRPGhGh-ulKnEW9crdRbCxve&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjCq6DL\\_JLaAhXOExQKHUypBckQ9C96BAgAEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=ShCxFGRIgtocLM:&imgsrc=aGaUGMaGkQWq\\_M:](https://www.google.pt/search?q=solar+inverter+off-grid+diagram&client=firefox-b&tbm=isch&tbs=rimg:CUoQsRRkSILalJhoZpQYxoaRBYTifcz0iikMg32zJDLTb4sxRpaujUwg76IVL2KjndVqqd5lhSEQ4RwTxoRofrpSpyoSCWhmlBjGhpEFEafA5l5xH_1kiKhIJhOJ9zPSKKQwRglXo6xlyTTlqEgmDfbMkOVNvixH7L0SygAKQ4ioSCTFGlq6NTCDvEcDQUfIKXC4mKhIJohUvYqOd1WoRADkU4ugZ9csqEgmp3mWFIRDhHBHgDfU3uj4f_1yoSCRPGhGh-ulKnEW9crdRbCxve&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjCq6DL_JLaAhXOExQKHUypBckQ9C96BAgAEBg&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgdii=ShCxFGRIgtocLM:&imgsrc=aGaUGMaGkQWq_M:) [Accessed: 07-Mar-2018].
- [85] E. Almeida *et al.*, "Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica," *Eng. Online*, vol. 1, pp. 21-33, 2015.
- [86] E. A. F. A. Fadigas, "Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Económica," Universidade de São Paulo, 2004.
- [87] Gooble.pt, "Célula Fotovoltaica de Silício Policristalino." [Online]. Available: [https://www.google.pt/search?q=celulas+fotovoltaicas+silicio+policristalino&client=firefox-b&tbm=isch&tbs=rimg:CRgzEjLe\\_1HUDIjh8euXnWAYkIsrh8tPpvUfBqZfvV\\_1EJG1dnK8Benvzy6J0aXC2\\_1ah2bp6DmZeKk4yAdaCIl2ttYgCoSCXx65edYBiQiEaL6gsk9bn9EKHlJyuHy0-m9R8ERqP\\_1OXnWZQQ8qEgmp1-9X8QkbVxFqJ7PCmEidmyoSCWcrwF6e\\_1PLoEbLQo8bq-r1WKhIjnRpb9qHZsRaiezwpHlnZsqEgmnoOZl4qTjIBE47OwMKcwBfioSCR1oKUja21iAEd8O24zgzUbx2&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwivhOmfW9XZAhUJ0RQKHyeJCRIQ9C96BAgAEBk&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgrc=qZfvV\\_EJG1etnM:](https://www.google.pt/search?q=celulas+fotovoltaicas+silicio+policristalino&client=firefox-b&tbm=isch&tbs=rimg:CRgzEjLe_1HUDIjh8euXnWAYkIsrh8tPpvUfBqZfvV_1EJG1dnK8Benvzy6J0aXC2_1ah2bp6DmZeKk4yAdaCIl2ttYgCoSCXx65edYBiQiEaL6gsk9bn9EKHlJyuHy0-m9R8ERqP_1OXnWZQQ8qEgmp1-9X8QkbVxFqJ7PCmEidmyoSCWcrwF6e_1PLoEbLQo8bq-r1WKhIjnRpb9qHZsRaiezwpHlnZsqEgmnoOZl4qTjIBE47OwMKcwBfioSCR1oKUja21iAEd8O24zgzUbx2&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwivhOmfW9XZAhUJ0RQKHyeJCRIQ9C96BAgAEBk&biw=1366&bih=654&dpr=1#imgrc=qZfvV_EJG1etnM:) [Accessed: 05-Mar-2018].
- [88] B. E. Solar, "Células Orgânicas Fotovoltaicas." [Online]. Available: <http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. [Accessed: 05-Mar-2018].
- [89] A. D. Martins *et al.*, "Optimization of Organic Photovoltaic Cells," *e-xacta*, Belo Horizonte, pp. 79-92, Nov-2013.
- [90] P. E. E. Renováveis, "Nova célula solar fotovoltaica promete a maior eficiência de sempre." [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/celula-solar-fotovoltaica-maior-eficiencia/>. [Accessed: 30-Mar-2018].

- [91] Portal Energia: Energias Renováveis, “Investigadores desenvolvem célula solar que opera como inversor.” [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/investigadores-desenvolvem-celula-solar-inversor/>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [92] Filipe Alexandre de Sousa Pereira; Manuel Ângelo Sarmiento Oliveira., *Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica*. Porto: Agosto 2011.
- [93] Fabio Fernandes Figueira, “Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Alimentar a Sala de Computação da Escola Municipal Tenente António João,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.