

Sistema SCADA para controlo e monitorização de um posto de carregamento solar de bicicletas elétricas

Versão final após discussão

Ivan Joel Ponciano Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica
(2^o ciclo de estudos ou mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano
Coorientador: Prof. Doutor José Álvaro Nunes Pombo

Mai de 2021

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o contributo, apoio e incentivo de determinadas pessoas.

Assim, quero deixar os meus sinceros agradecimentos:

Ao meu orientador, Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano, pela proposta de trabalho, disponibilidade e aconselhamento.

Ao meu coorientador, Prof. Doutor José Álvaro Nunes Pombo, por todo apoio prestado, pela disponibilidade, pelos conhecimentos e experiência transmitidos e pelas constantes sugestões e revisões. As suas recomendações foram fundamentais em cada momento.

À Prof. Doutora Maria Rosário Alves Calado, pela disponibilidade e pela oportunidade de ingressar em uma bolsa de investigação no âmbito do projeto *URBAN AIR*.

Aos meus pais e irmã, por toda a confiança que demonstraram ao longo do meu percurso académico. Sem eles não teria sido possível.

À Nádia, por todo o amor, paciência e preocupação que demonstrou ao longo deste trabalho.

Por fim, e não menos importantes, aos meus amigos e colegas, que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Resumo

O uso abusivo de combustíveis fósseis ao longo das últimas décadas tem contribuído para o aumento dos gases com efeito de estufa e a deterioração do ambiente.

Também no setor dos transportes este problema é evidente, fazendo com que a mobilidade elétrica, onde se insere também a bicicleta elétrica, surtisse no nosso cotidiano. Geralmente a mobilidade elétrica é vista como não poluente e amiga do ambiente, no entanto, o carregamento dos veículos elétricos ainda pode contribuir significativamente para as emissões de gases com efeito estufa. Por este motivo, surge a necessidade de criar postos de carregamento com produção de energia elétrica renovável.

Esta dissertação visa projetar postos de carregamento para E-bikes, com produção fotovoltaica e armazenamento de energia elétrica. Através destes postos de carregamento vai ser possível carregar as E-bikes com fontes de energia elétrica renováveis.

Este posto de carregamento vai também contemplar um sistema SCADA onde é possível controlar e monitorizar todas as ações - ver o estado do sistema em tempo real, registar o histórico dos carregamentos efetuados e monitorizar diversos parâmetros sobre a qualidade da energia. É também através deste sistema que o carregador é controlado, sendo necessário possuir um cartão de identificação RFID para o sistema conceder acesso ao carregamento de E-bikes.

Palavras-chave

Estações de carregamento solares; SCADA; PLC; Automação; Bicicleta elétrica; Mobilidade sustentável

Abstract

The abusive use of fossil fuels over the past few decades has contributed to the increase in greenhouse gases and the deterioration of the environment.

This problem is also evident in the transport sector, making electric mobility, which also includes the electric bicycle, appear in our daily lives. Electric mobility is generally seen as non-polluting and environmentally friendly, however, charging electric vehicles can still contribute significantly to greenhouse gas emissions. For this reason, there is a need to create charging stations with renewable electric energy production.

This dissertation aims to design charging stations for E-bikes, with photovoltaic production and electrical energy storage (EES). Through these charging stations it will be possible to charge E-bikes with renewable electric energy sources.

This charging station will also cover a SCADA system where it is possible to control and monitor all actions - see the status of the system in real time, record the history of the charges made and monitor various parameters on the quality of the energy. It is also through this system that the charging station will be controlled, through an RFID identification card, needed for the system to grant access.

Keywords

Solar charging stations; SCADA; PLC; Automation; Electric Bicycle; Sustainable mobility

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Palavras-chave	iii
Abstract	v
Keywords	v
Índice	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Mobilidade sustentável.....	1
1.3. Bicicletas Elétricas	4
1.4. Mercado global das E-bikes	5
1.5. O problema em estudo e objetivos.....	6
1.6. Estrutura e organização da dissertação	7
2. Estado da Arte	9
2.1. Estações de carregamento solar	9
2.1.1. Estação de carregamento solar Enforce InCh.....	9
2.1.2. Estação de carregamento solar sem ligação à rede para veículos elétricos e a hidrogénio	10
2.1.3. Estação de carregamento solar desenvolvida na <i>Delft University of Technology</i> na Holanda	11
2.1.4. SunPod® Cyclo	12
2.1.5. E-Move Charging station	13
2.1.6. Zed Dock/Solar Tree	13
2.1.7. Solar Mobility Hub.....	14
2.2. Resumo das características dos Carregadores Solares.....	15
3. Carregadores solares para E-bikes desenvolvidos	17
3.1. Descrição geral dos circuitos implementados	19
3.1.1. Principais componentes do sistema.....	20
3.2. Circuito de potência desenvolvido.....	28

3.3. Circuito de comando desenvolvido	30
3.4. Circuito de comunicação desenvolvido	32
4. Software desenvolvido	35
4.1. Software utilizado	35
4.1.1. Linguagens de programação.....	37
4.2. Programa desenvolvido.....	39
4.3. Sistema SCADA	49
4.3.1. Página Web.....	49
4.3.2. HMI	53
5. Análise e Discussão dos Resultados.....	55
5.1. Simulação	55
5.2. Resultados	56
5.2.1. Ensaio 1.....	56
5.2.2. Ensaio 2	57
5.2.3. Ensaio 3	59
5.2.4. Ensaio 4	60
5.2.5. Ensaio 5	61
5.2.6. Ensaio 6	62
6. Conclusões	65
6.1. Conclusões gerais	65
6.2. Sugestões de trabalhos futuros	65
Referências Bibliográficas	67

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 EMISSÕES DE CO ₂ (G) POR UNIDADE DE ENERGIA CONSUMIDA (MJ) DE 1995 A 2002.	2
FIGURA 1.2 DISTÂNCIA PERCORRIDA COM 1000 KCAL PARA DIFERENTES MEIOS DE TRANSPORTE.....	3
FIGURA 1.3 TIPOS DE MODELOS DE E-BIKES.....	4
FIGURA 1.4 VENDA DE E-BIKES NA EUROPA ENTRE 2009 E 2018.	5
FIGURA 1.5 VENDAS DE E-BIKES NA EUROPA ENTRE 2013 E 2016.....	6
FIGURA 2.1 ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO SOLAR INCH-ENFORCE [6].	10
FIGURA 2.2 PROPOSTA DE ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO SOLAR OFF-GRID PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS E HIDROGÉNIO. IMAGEM ADAPTADA DE [10].....	11
FIGURA 2.3 ESTAÇÃO DE CAREGAMENDO DESENVOLVIDA NA UNIVERSIDADE DE <i>TU DELF</i>	12
FIGURA 2.4 MÓDULO DA ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO SOLAR <i>SUNPOD® CYCLO</i> [8].....	12
FIGURA 2.5 <i>E-MOVE CHARGING STATION</i> [9].	13
FIGURA 2.6 ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO SOLAR " <i>SOLAR TREE</i> ".	14
FIGURA 2.7 ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO SOLAR " <i>SOLAR MOBILITY HUB</i> " [11].	15
FIGURA 3.1 POSTO DE CARREGAMENTO DA FACULDADE DE ENGENHARIA.	17
FIGURA 3.2 POSTO DE CARREGAMENTO DA RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DO SINEIRO.....	18
FIGURA 3.3 POSTO DE CARREGAMENTO DA RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DE SANTO ANTÓNIO.	18
FIGURA 3.4 POSTO DE CARREGAMENTO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE.	19
FIGURA 3.5 ARQUITETURA DO CIRCUITO GERAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO.	20
FIGURA 3.6 PAINEL PV <i>JINKO EAGLE 72</i> CÉLULAS.....	21
FIGURA 3.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS I-V E P-V DOS PAINÉIS PV <i>JINKO EAGLE 72</i>	22
FIGURA 3.8 INVERSOR HÍBRIDO <i>IMEON 3.6</i>	22
FIGURA 3.9 BANCO DE BATERIAS LI-ION <i>PYLONTECH US200 PLUS</i>	24
FIGURA 3.10 CICLO DE VARRIMENTO DE UM PLC.....	25
FIGURA 3.11 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMAVEL <i>SIEMENS S7-1512C-1PN</i>	26
FIGURA 3.12 MEDIDOR MUTIFUNCIONAL <i>SENTRON PAC4200</i>	26

Lista de Figuras

FIGURA 3.13 HMI SIMATIC KPT400 BASIC.....	27
FIGURA 3.14 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO RF-180C E LEITOR RFID RF340R.....	27
FIGURA 3.15 SWITCH ETHERNET UTILIZADO.	28
FIGURA 3.16 CIRCUITO DE POTÊNCIA IMPLEMENTADO.....	30
FIGURA 3.17 CIRCUITO DE COMANDO DESENVOLVIDO.....	31
FIGURA 3.18 CIRCUITO DE COMUNICAÇÃO IMPLEMENTADO.	33
FIGURA 4.1 PÁGINA INICIAL DO <i>SOFTWARE</i> TIA PORTAL V15.1.....	35
FIGURA 4.2 MENU DISPONIBILIZADO PARA CRIAR UM NOVO BLOCO.....	36
FIGURA 4.3 EXEMPLO DA LINGUAGEM ST NO TIA PORTAL.....	38
FIGURA 4.4 DINÂMICA DE FUNCIONAMENTO DO CARREGADOR.	39
FIGURA 4.5 FLUXOGRAMA DA FUNÇÃO MAIN.....	41
FIGURA 4.6 FLUXOGRAMA DO ESTADO 0 – “RESET LEITOR”.	42
FIGURA 4.7 FLUXOGRAMA DO ESTADO 1 - “ESCREVER CARTAO”.	43
FIGURA 4.8 FLUXOGRAMA DO ESTADO 2 – “LER CARTÃO”.....	44
FIGURA 4.9 FLUXOGRAMA DO ESTADO 3 – “VERIFICAR UTILIZADOR”.	45
FIGURA 4.10 FLUXOGRAMA DO ESTADO 4 – “VERIFICAR POSTO”.	47
FIGURA 4.11 FLUXOGRAMA DATALOG E DATALOG ENERGIA.....	48
FIGURA 4.12 EXEMPLO DE ATUALIZAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DE JAVASCRIPT.	51
FIGURA 4.13 PÁGINA "POSTOS DE CARREGAMENTO" DA PÁGINA WEB DESENVOLVIDA.....	51
FIGURA 4.14 PÁGINA "ENERGIA" DA PÁGINA WEB DESENVOLVIDA.....	52
FIGURA 4.15 PÁGINA "HOME" DA PÁGINA WEB DESENVOLVIDA.....	52
FIGURA 4.16 PÁGINA QUE POSSIBILITA DESCARREGAR OS FICHEIROS DO REGISTO DE DADOS.....	53
FIGURA 4.17 EXEMPLO DE DADOS DESCARREGADOS DA PÁGINA WEB.....	53
FIGURA 4.18 TELA INICIAL DO PAINEL HMI.	54
FIGURA 4.19 TELA QUE PERMITE VISUALIZAR O ESTADO DOS POSTOS NO PAINEL HMI.....	54
FIGURA 5.1 PERFIL DE CARGA DE UMA E-BIKE.....	56

FIGURA 5.2 GRÁFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 1.....	57
FIGURA 5.3 GRÁFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 2	58
FIGURA 5.4 GRÁFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 3.....	60
FIGURA 5.5 GRAFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 4.....	61
FIGURA 5.6 GRAFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 5.....	62
FIGURA 5.7 GRAFICOS DO FLUXO DE ENERGIA, SOC E PRODUÇÃO PV DO ENSAIO 6.....	63

Lista de Tabelas

TABELA 2-1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE CARREGADORES.	15
TABELA 2-2 COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO.	16
TABELA 3-1 CARACTERÍSTICAS DO CARREGADOR SOLAR DESENVOLVIDO.	19
TABELA 3-2 CARACTERÍSTICAS DO PAINEL PV.	21
TABELA 3-3 CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR IMEON 3.6.	23
TABELA 3-4 CARACTERÍSTICAS DA BATERIA PYLONTECH US2000 PLUS.	24
TABELA 3-5 VARIÁVEIS DE ENTRADA UTILIZADAS	31
TABELA 3-6 VARIÁVEIS DE SAÍDA DIGITAIS	32
TABELA 4-1 TIPOS DE DADOS DO SIMATIC S7-1500.	37
TABELA 4-2 FORMAS DE ATUALIZAR DADOS EM PÁGINAS WEB.	50

Nomenclatura

Acrónimos:

<i>CPU</i>	<i>Central Processing Unit</i>
<i>CO₂</i>	<i>Dióxido de Carbono</i>
<i>CSS</i>	<i>Cascading Style Sheet</i>
<i>E-Bike</i>	<i>Electric Bicycle</i>
<i>ESS</i>	<i>Energy Storage System</i>
<i>FBD</i>	<i>Function Block Diagram</i>
<i>HMI</i>	<i>Human-Machine Interface</i>
<i>HTML</i>	<i>Hyper Text Markup Language</i>
<i>IL</i>	<i>Instruction List</i>
<i>I/O</i>	<i>Input/Output</i>
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i>
<i>I-V</i>	<i>Corrente-Tensão</i>
<i>LAN</i>	<i>Local Area Network</i>
<i>LD</i>	<i>Ladder Diagram</i>
<i>MAC</i>	<i>Media Access Control</i>
<i>PLC</i>	<i>Programmable Logic Controller</i>
<i>PROFIBUS</i>	<i>Process Field Bus</i>
<i>PROFINET</i>	<i>Process Field Net</i>
<i>PV</i>	<i>Photovoltaics</i>

Nomenclatura

<i>P-V</i>	<i>Potência-Tensão</i>
<i>RFID</i>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<i>RTU</i>	<i>Remote Telemetry Unit</i>
<i>SCADA</i>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
<i>SFC</i>	<i>Sequential Function Charts</i>
<i>SLA</i>	<i>Sealed Lead Acid</i>
<i>SOC</i>	<i>State of Charge</i>
<i>ST</i>	<i>Structured Text</i>
<i>TCP</i>	<i>Transmission Control Protocol</i>
<i>VE</i>	<i>Veículo Elétrico</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O uso abusivo de combustíveis fósseis ao longo dos anos contribuiu para um aumento do efeito de estufa e deterioração do ambiente [1]. Evidenciando, assim, a importância de utilizar fontes de energia alternativas e limpas para o setor dos transportes para que possam substituir os combustíveis fósseis utilizados abusivamente ao longo das últimas décadas. Cerca de um quinto das emissões totais de gases com efeito de estufa na União Europeia provém dos transportes e dessas, cerca de 90% têm origem nos transportes rodoviários [2].

No entanto, são esperadas duas tendências que podem transformar o sector dos transportes, que são: uma grande emergência de veículos elétricos como futuro meio de transporte e produção de energias renováveis descentralizadas em grande escala [3].

Relativamente aos transportes urbanos, a bicicleta elétrica (E-bike) tem o potencial de desempenhar uma importante solução dos problemas descritos, uma vez que as deslocações com menos de 8 km constituem cerca de 70% do total das viagens realizadas e a bicicleta apresenta ser uma alternativa eficaz para percorrer pequenas e médias distâncias [2].

Porém, a E-bike pode ter um papel ainda mais importante nesta solução, caso, a energia utilizada para o carregamento seja proveniente de fontes renováveis e limpas. Para isso, é necessário criar postos de carregamento de E-bikes com fontes de energia limpas. Uma solução é introduzir a produção descentralizada de energias renováveis nos próprios carregadores, visto que são grátis e amigas do ambiente, podendo contribuir assim para a melhoria do ambiente e do ar em meio urbano onde a poluição rodoviária é mais significativa.

1.2. Mobilidade sustentável

A mobilidade sustentável é a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, transacionar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos, hoje e no futuro.

Tem como principal objetivo a redução dos impactos ambientais e sociais da mobilidade motorizada existente. Prioriza os modos de transporte coletivo, a pé e de bicicleta face ao automóvel, promovendo o reordenamento dos espaços e das atividades urbanas, de forma a reduzir as necessidades de deslocamento e os seus custos [4].

As cidades em todo o mundo estão a enfrentar o desafio de melhorar a sua sustentabilidade e também a sustentabilidade dos seus sistemas de transporte, que foram desenvolvidos com base nas deslocações através de veículos particulares com

motor a combustão interna. Essas mesmas cidades enfrentam o desafio adicional de atender às necessidades de mobilidade de uma população em envelhecimento, muitas das quais se habituaram à mobilidade independente fornecida pelo automóvel [5].

Adicionalmente, o consumo de energia nos países desenvolvidos tem aumentado exponencialmente durante as últimas décadas. Em Portugal, o sector dos transportes consumiu 40% da energia do país em 2008, um número superior aos 32% da média europeia EU-27 (EUROSTAT, 2011b), o mesmo pode ser verificado nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), onde em Portugal representa uma cota de 25% face aos 19% da média europeia EU-27.

No sector dos transportes, o transporte rodoviário, foi o que mais contribui para o consumo de energia e emissões de CO₂, consumindo 81% da energia total e emitindo uma parcela de 97% de todo o CO₂ emitido no sector dos transportes (EUROSTAT, 2011c). Relativamente à eficiência energética, emissões de CO₂ por unidade de energia, podemos verificar que Portugal obteve uma redução de 12% com base no consumo total de energia, no entanto, no setor dos transportes, como podemos verificar na Figura 1.1, obteve uma redução inferior à media europeia, cerca de 3% de emissões de CO₂ por unidade de energia [6].

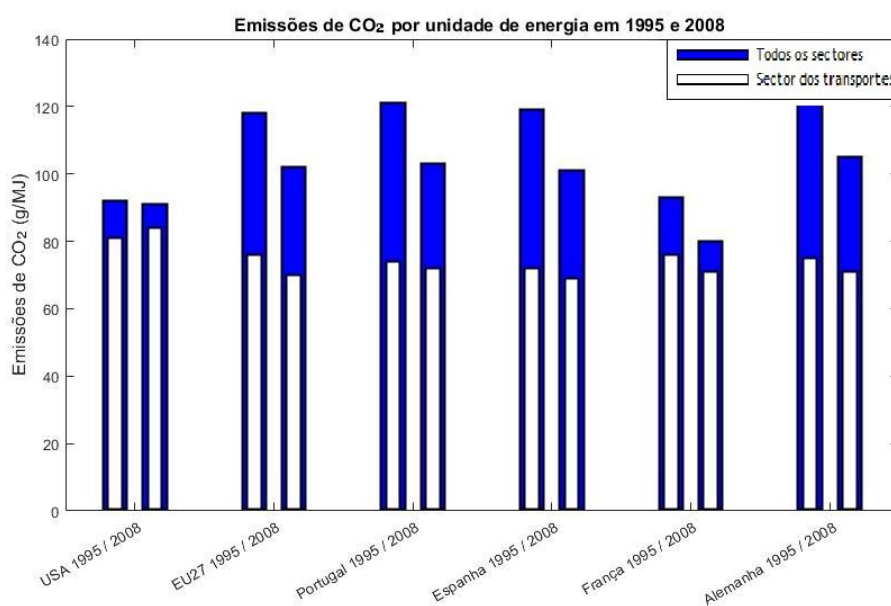


Figura 1.1 Emissões de CO₂ (g) por unidade de energia consumida (MJ) de 1995 a 2002.

No que diz respeito aos transportes urbanos, a bicicleta tem o potencial de desempenhar um papel importante na solução dos problemas descritos acima. No entanto, o desempenho da bicicleta depende da capacidade física do ciclista e da disposição que o ciclista tem para fornecer energia necessária para chegar ao seu destino. Com a adição de assistência eléctrica o ciclista tem, portanto, o potencial de expandir o papel da E-bike no transporte urbano. Os consumidores têm acesso a uma crescente variedade de E-bikes, e assim surge uma forma de promovermos um meio de transporte mais sustentável e que proporciona uma melhoria na qualidade do ar em ambiente urbano [5].

Andar de bicicleta é mais eficiente que qualquer outro método de locomoção, sendo até mais eficiente que caminhar, ou seja, podemos considerar a E-bike como uma alternativa viável à mobilidade de pequenas e médias distâncias dentro das cidades.

Como podemos ver na Figura 1.2, a forma mais eficiente e económica de deslocação é através de uma E-bike sendo possível percorrer 45.5 Km com 1000 kcal. Por outro lado, com as mesmas 1000 kcal é possível caminhar 16.1 Km, já se nos deslocarmos de comboio ou automóvel essa distância é reduzida para 8.3 Km e 0.9 Km respetivamente [4].

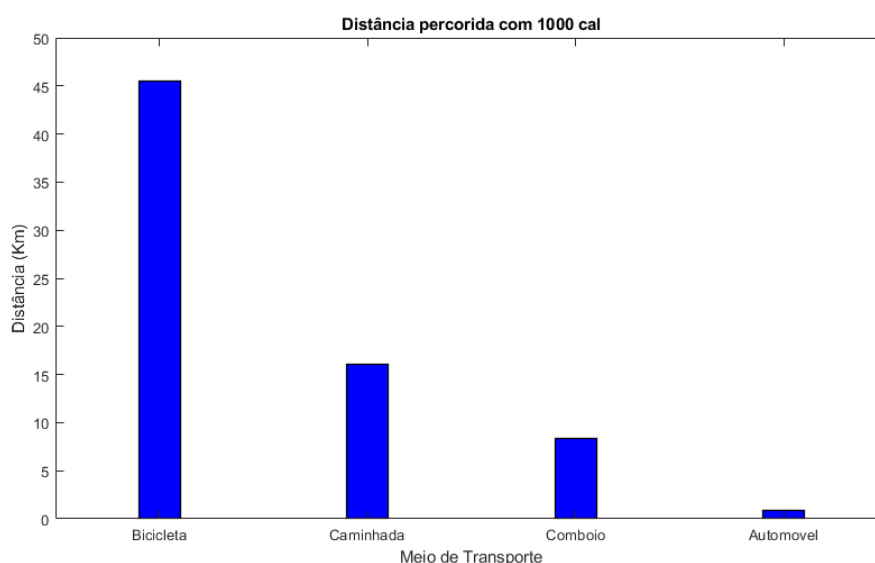


Figura 1.2 Distância percorrida com 1000 kcal para diferentes meios de transporte.

Segundo [4] [5], podemos considerar que o uso da E-bike em contexto urbano permite:

- melhorar a eficiência do sistema de transporte;
- melhorar a segurança e promover maior harmonia no trânsito;
- uma melhoria da eficiência energética e a redução de impactos ambientais;
- promover o desenvolvimento das cidades com qualidade de vida, através de um conceito transporte consciente, ecológico e participativo;
- maximizar os benefícios de acessibilidade e mobilidade.

1.3. Bicicletas Elétricas

O termo E-bike refere-se a um veículo de duas rodas, com um motor elétrico movido a bateria. Para além de ser uma alternativa económica e sustentável, é também mais rápida e confortável que as bicicletas tradicionais, uma vez que não é necessário tanto esforço para as conduzir [7].

Quando comparadas com os veículos movidos a combustível, as E-bikes são uma alternativa ecológica, silenciosa, económica e limpa.

Ao abrigo da legislação comunitária, o motor deverá ter uma potência máxima de 250 W e deverá ser desligado quando atinge a velocidade de 25 km/h ou quando o ciclista deixar de pedalar [4].

Existem algumas diferenças quanto ao tipo de configuração das E-bikes: se por um lado, as E-bikes fabricadas na Europa e na América do Norte se assemelham a uma bicicleta convencional (Figura 1.3 a) e b)), na China as mesmas se assemelham mais a uma scooter (Figura 1.3 c) d) e) f)).



Figura 1.3 Tipos de modelos de E-bikes.

As baterias das E-bikes geralmente são de chumbo-ácido (SLA) ou de iões de lítio (Li-ion). As primeiras, são mais económicas, sendo tradicionalmente utilizadas nos automóveis, nas cadeiras de rodas elétricas e equipamentos hospitalares entre outros. Já as baterias de iões de lítio, são uma tecnologia mais recente, usadas em equipamentos eletrónicos tais como telemóveis, tablets, computadores e bicicletas elétricas [8].

Apesar das baterias seladas de chumbo-ácido (SLA) continuarem a representar a maioria das vendas de bicicletas elétricas devido ao seu baixo custo, estima-se as vendas anuais de E-bikes com baterias SLA diminua na maior parte dos países. As projeções das

baterias de SLA apontam para um decréscimo anual de 4.7%, as vendas de baterias de Li-ion tendem a aumentar com um crescimento anual de 11.4% [9].

Devido às suas vantagens face às baterias SLA, o mercado das baterias Li-ion utilizadas nas E-bikes está a aumentar, uma vez que apresentam diversos pontos de destaque: possuem maior densidade energética (3 vezes superior); maior eficiência no processo de carga e descarga; têm um ciclo de vida maior; apesar do custo inicial mais elevado das baterias Li-ion, a rentabilidade é maior do que as SLA quando se considera a vida útil e desempenho da bateria e têm também menor impacto ambiental [10][11].

No futuro, vai existir uma revolução no transporte movido a bateria onde a E-bike vai possuir papel determinante. É expectável que em 2023, as vendas globais de E-bikes possam atingir os 40 milhões de unidades [12].

1.4. Mercado global das E-bikes

As E-bikes foram inicialmente comercializadas no Japão na década de 80, mas foi a partir de 2000 que a comercialização se expandiu. Nos dias de hoje, são o veículo elétrico que mais vende em todo o mundo, sendo a China a detentora da maioria das vendas, seguindo-se a Alemanha e a Holanda [13].

Na Figura 1.4 é possível ver uma tendência de crescimento na venda de bicicletas elétricas na Europa, alcançando em 2018 o total de 2.6 milhões de unidades vendidas [14].

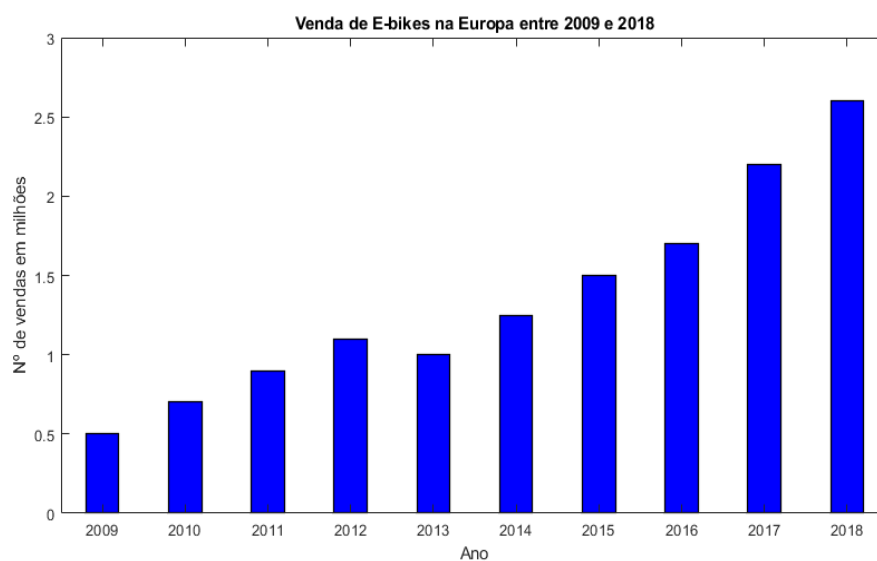


Figura 1.4 Venda de E-bikes na europa entre 2009 e 2018.

Em 2016, foram vendidas em todo o mundo 35 milhões de bicicletas elétricas, e este valor tende a aumentar, uma vez que em 2023 são previstos cerca de 40 milhões, continuando a China a ser o maior mercado, onde se prevê vendas de 34.3 milhões de unidades [7][12]. A Europa atingiu 1.6 milhões de E-bikes vendidas em 2016, a Alemanha, Holanda e Bélgica são os maiores consumidores, como podemos observar na Figura 1.5, representando 65% das vendas da Europa nesse ano [15].

A nível nacional, os portugueses estão a comprar cada vez mais E-bikes, uma vez que só no ano de 2018 foram vendidas mais de 20 mil bicicletas elétricas.

Apesar do aumento das vendas das E-bikes em todo o mundo, na China a tendência é que estagne ou diminua devido à saturação do mercado e às novas proibições do uso de baterias em cidades como Pequim, Schenzhen, Xangai e Guangzhou [9].

No entanto, mesmo após as restrições ao uso de baterias impostas em várias cidades da China, especula-se que a produção de E-bikes na China se mantenha igual até 2025, já nos Estados Unidos, Alemanha, Holanda e Japão, prevê-se que aumente a produção e E-bikes [9].

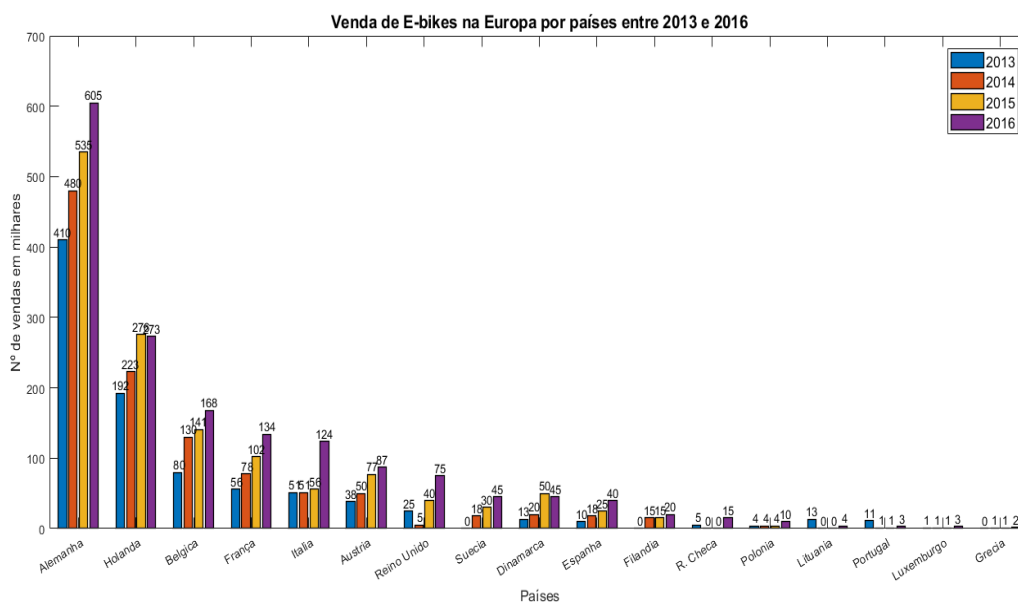


Figura 1.5 Vendas de E-bikes na Europa entre 2013 e 2016.

1.5. O problema em estudo e objetivos

Propõem-se nesta dissertação, o desenvolvimento de um carregador solar para E-bikes com um sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) integrado que vai possibilitar o controlo, monitorização e aquisição de dados relativos ao carregador. Além de carregar as E-bikes com energia limpa e amiga do ambiente, o sistema permite obter várias informações úteis, através da interface e da página web desenvolvida.

Com o desenvolvimento deste trabalho pretende-se:

1. Desenvolver um carregador solar para E-bikes;
2. Criar uma página web que possibilite o controlo e a monitorização do sistema;
3. Criar um *dashboard* que permita visualizar o estado do sistema em tempo real;
4. Criar uma base de dados com o histórico de utilizadores e parâmetros da energia.

1.6. Estrutura e organização da dissertação

Esta dissertação está subdividida em 6 capítulos.

No **capítulo 1** é feita uma introdução com a qual se pretende esclarecer o tema da dissertação, inicia-se com uma breve descrição dos artigos mais relevantes sobre o tema, abordando a mobilidade sustentável, dando destaque à bicicleta elétrica, ao seu mercado global e os objetivos a atingir.

O **capítulo 2** é feita uma análise e descrição de vários artigos científicos e projetos que foram desenvolvidos e são relacionados com o tema.

No **capítulo 3** são descritas as localizações e características dos postos de carregamento solar para E-bikes instalados no campus da UBI. É descrita também toda a interface física do sistema de carregamento, circuitos constituintes e apresentação dos componentes mais importantes.

No **capítulo 4** é descrita toda a componente que irá efetuar o controlo e monitorização do sistema. É também apresentada a página web e a interface homem máquina (HMI) pertencente ao sistema SCADA que irá servir de interface com o utilizador e assim proporcionar o controlo, monitorização e aquisição de dados.

No **capítulo 5** são apresentadas simulações do funcionamento do sistema e os resultados obtidos.

No **capítulo 6** é analisado e discutido todo o trabalho efetuado, e são indicadas as sugestões de trabalhos futuros.

2. Estado da Arte

2.1. Estações de carregamento solar

A constante procura por soluções de mobilidade sustentável tem levado ao desenvolvimento de veículos elétricos onde estão também incluídas as bicicletas elétricas.

As baterias destes veículos são, geralmente, carregadas em postos de carregamento ligados à rede elétrica existente. No entanto, a eletricidade proveniente desta pode ter uma parte da energia proveniente de fontes de energia não renováveis.

A emissão média de CO₂ na produção de eletricidade para vários países europeus mostra uma ampla variação de 13-819 g de CO₂ por kWh com base na geração de eletricidade em 2016. A média da União Europeia é de 296 g/kWh, o que se deve ao facto de 43% de energia produzida seja proveniente de combustíveis fósseis [16].

Supondo uma eficiência energética de um carro elétrico é 5 km/kWh, a emissão de CO₂ de 13-819 g/kWh na produção de energia elétrica irá traduzir-se em 2,6-163 g/km. Portanto, para tornar os veículos elétricos (VEs) verdadeiramente sustentáveis, é essencial carregar VEs a partir de fontes sustentáveis de eletricidade, como a energia eólica e solar [16].

Assim, a crescente preocupação relacionada com a utilização destas fontes de energia para produção de eletricidade tem contribuído para a mudança do paradigma energético. Este baseia-se na integração de fontes de energia renováveis na rede elétrica, diminuindo a dependência relativamente aos combustíveis fósseis.

Neste contexto, surgiram projetos de parques para carregamento de veículos elétricos a partir de painéis fotovoltaicos (PV), aplicados a edifícios públicos e privados e estações de serviço de combustíveis fósseis, conjugando o setor das energias renováveis com o setor do transporte.

2.1.1. Estação de carregamento solar Enforce InCh

Na Figura 2.1 podemos visualizar a estação de carregamento solar desenvolvida pela empresa portuguesa Enforce mediante contrato de assistência técnica com o Departamento de Engenharia Eletromecânica da Universidade da Beira Interior.

Esta estação de carregamento integra as energias renováveis com o sector do transporte onde num mesmo local é possível produzir a energia elétrica, de forma descentralizada, necessária para alimentar os VEs e efetuar o carregamento do mesmo.

Dado que é uma solução que integra a produção de energia através da tecnologia fotovoltaica, e a transformação de energia para o carregamento rápido das baterias

existentes nos veículos elétricos, o sistema integrado permite o aumento da eficiência energética global de uma rede de carregamento de veículos elétricos, comparativamente com uma rede análoga onde por cada ponto de carregamento não existe qualquer sistema de produção de energia [17].



Figura 2.1 Estação de carregamento solar InCh-Enforce [6].

2.1.2. Estação de carregamento solar sem ligação à rede para veículos elétricos e a hidrogénio

Na Figura 2.2 podemos ver o *design* de um estação de carregamento solar sem ligação com a rede elétrica que pode carregar, simultaneamente, veículos elétricos e veículos a hidrogénio. A energia produzida pelos painéis solares pode ser usada de duas formas, para fornecer energia ao sistema de carregamento de veículos elétricos e ao eletrolisador que vai produzir hidrogénio para suprir a demanda de veículos alimentados a hidrogénio [18].

O hidrogénio armazenado é utilizado para efetuar o carregamento de veículos a hidrogénio, e também pode ser convertido em energia elétrica através de uma célula de combustível quando a energia solar não for suficiente para carregar os VEs, quando não existe produção solar, ou quando a energia solar não for constante. Assim podemos evitar o uso do gerador diesel e maximizar o rendimento e a eficiência do sistema fazendo com que as emissões da estação sejam o mais baixas possíveis.

A energia necessária para efetuar o carregamento de veículos elétricos e a hidrogênio é modelada como parâmetro incerto e essa incerteza é contornada com operação de célula de combustível e do gerador a diesel. O projeto e operação da estação é realizado através de uma programação estocástica de otimização [18].

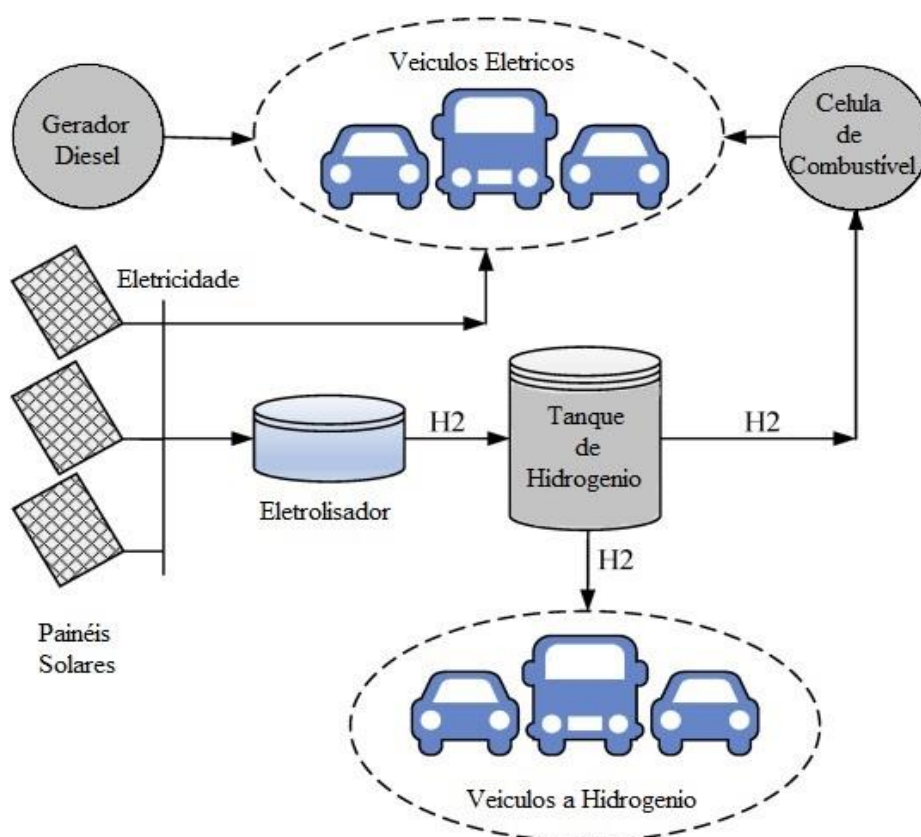


Figura 2.2 Proposta de estação de carregamento solar off-grid para veículos elétricos e hidrogênio. Imagem adaptada de [10].

2.1.3. Estação de carregamento solar desenvolvida na *Delft University of Technology* na Holanda

Na estação de carregamento solar desenvolvida na *Delft University of Technology* é abordado o projeto de uma estação de carregamento a energia solar para E-bikes, scooters e pequenos veículos. Esta estação possui uma capacidade de produção fotovoltaica instalada de 2.6 KWp e um sistema de armazenamento com uma capacidade de 2.6 KWh que pode funcionar com ou sem ligação à rede elétrica [16].

Como podemos observar na Figura 2.3, a estação pode fornecer energia de diversas formas, em AC onde permite carregar pequenos veículos, DC para carregar E-bikes e Scooters e DC sem fio, para carregar E-bikes através de um suporte desenvolvido especificamente para o efeito.

Esta estação foi colocada diretamente no campus da universidade de forma a permitir o acesso direto e assim facilitar a pesquisa contínua e a experiência com as novas tecnologias de produção renováveis. Somente construindo e usando podemos demonstrar o uso eficaz da energia verde em um ambiente sustentável [19].



Figura 2.3 Estação de carregamento desenvolvida na universidade de *TU Delft*.

2.1.4. SunPod® Cyclo

A estação de carregamento *SunPod® Cyclo* é uma estação de carregamento solar autónoma uma vez que a mesma não está conectada à rede elétrica. É uma estação de carregamento adequada a operações sazonais pois não necessita de infraestruturas e fundações para a sua aplicação [20].

Como podemos ver na Figura 2.4, esta estação é construída por módulos, o que permite ter flexibilidade e escalabilidade para o carregamento de bicicletas elétricas ou outros meios de mobilidade elétrica [20].



Figura 2.4 Módulo da estação de carregamento solar *SunPod® Cyclo* [8].

2.1.5. E-Move Charging station

Na Figura 2.5 podemos ver a estação de carregamento *E-Move Charging station*. É projetada para ser uma parte não invasiva e reconhecível da paisagem da cidade sendo equipada com oito painéis fotovoltaicos integrados no topo da estrutura, para capturar os raios solares. A sua forma de asa dá aos painéis solares uma ótima exposição solar. A estrutura inclinada é feita de vigas de aço e fixada ao solo por um pedestal de cimento. Do lado de fora, um banco oferece aos utilizadores um assento e uma estação para carregamento de smartphones, tablets e outros equipamentos moveis. No interior, na base da estrutura, estão as unidades técnicas bem protegidas: inversores e módulos de energia para recarregar veículos [21].



Figura 2.5 *E-move charging station* [9].

2.1.6. Zed Dock/Solar Tree

A empresa *Zed Factory*, sediada no reino unido, desenvolveu uma estrutura que além de fornecer energia para as E-bikes fornece também sombra e abrigo para os utilizadores. A estação de carregamento não requer fundações, tem incorporadas baterias de lítio *ZEDpower* e na sua estrutura tem montados painéis solares com uma potência total de 3 kWp [22].

Como podemos ver na Figura 2.6 a estrutura tem a forma de uma árvore que foi projetada para ficar em paisagens urbanas, como parques e espaços públicos, funcionando assim como mobiliário urbano. Foi concebida para ser robusta e resistente, tendo uma

estrutura em aço e os painéis fotovoltaicos em vidro temperado sendo assim resistente contra atos de vandalismo.

Pode ainda incorporar painéis publicitários ou uma lanterna central iluminada por LED que serve como iluminação pública [22].

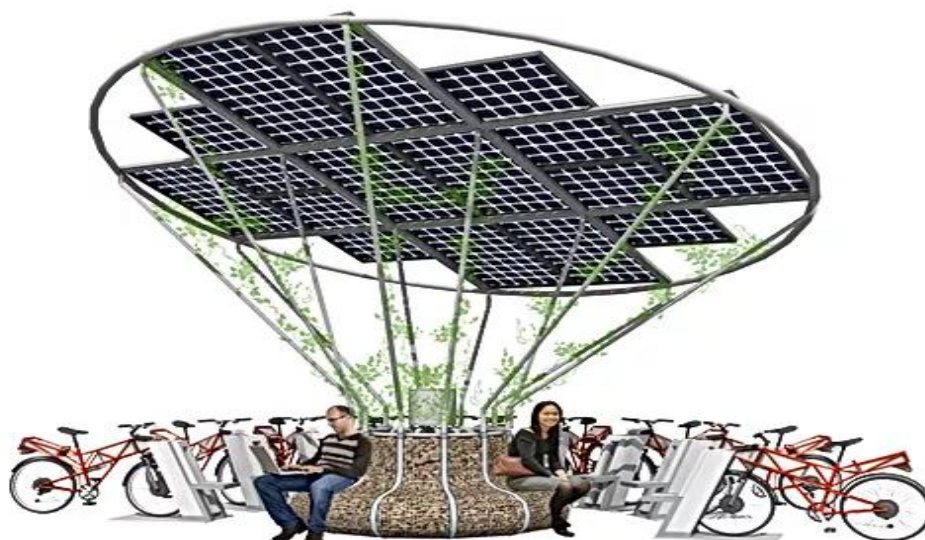


Figura 2.6 Estação de carregamento solar "Solar Tree".

2.1.7. Solar Mobility Hub

Na Figura 2.7 podemos ver um projeto de partilha de E-bikes implementado em Eindhoven na Holanda, denominado *Solar Mobility Hub*. É uma estação de carregamento sem ligação à rede elétrica que tem 5,52 kWp de potência solar instalada e um banco de baterias do tipo chumbo ácido com 10.6 kWh de capacidade [23].

Tem capacidade para dez E-bikes e duas scooters elétricas, que em combinação com um sistema de carregamento inteligente, deve fornecer mobilidade elétrica. Os utilizadores serão também informados sobre como utilizar a estação de carregamento, opções de viagens e horários de transporte público por meio de um sistema de informação [24].



Figura 2.7 Estação de carregamento solar "SOLAR MOBILITY HUB"[11].

2.2. Resumo das características dos Carregadores Solares

Na Tabela 2.1, podemos verificar as vantagens e desvantagens de cada tipologia de carregador e assim decidir qual a estratégia a adotar para os carregadores solares para E-bikes da Universidade da Beira Interior.

Tabela 2-1 Vantagens e desvantagens das diferentes tipologias de carregadores.

Estação de carregamento	Vantagens	Desvantagens
Sem ligação à rede	Possibilidade de mobilidade Inexistência de mão-de-obra para colocação de alicerces	O excesso de produção fotovoltaica não pode ser utilizado
Com ligação a rede e sem armazenamento	Solução fácil	O recurso à rede pode ser elevado
Com ligação a rede e com armazenamento	O excesso de produção fotovoltaica pode ser armazenado, minimizando o recurso à rede	Solução mais complexa e cara

Após analisar os vários sistemas de carregamento solar descritos anteriormente foi elaborada a Tabela 2.2 onde é possível ver e comparar as características de cada carregador.

Tabela 2-2 Comparação das características das estações de carregamento.

Estação de carregamento	Destino do carregamento	Ligação à rede	Armazenamento de energia	Gerador
Enforce InCh [17]	Automóveis	Sim	Bateria	Não
Estação de carregamento solar sem ligação à rede para veículos elétrico e a hidrogénio [18]	Automóveis	Não	Hidrogénio	Sim
Estação de carregamento solar desenvolvida na Delft University of Technology na Holanda[16]	E-bikes			
	Scooters	Sim	Bateria	Não
	Pequenos automóveis			
SunPod® Cyclo[20]	E-Bike	Não	Bateria	Não
E-Move charging station[21]	E-Bike	Não	Bateria	Não
Zed Dock/Solar Tree[22]	E-Bike	Não	Bateria	Não
SOLAR MOBILITY HUB[23]	E-Bike	Não	Bateria	Não
	Scooters			

3. Carregadores solares para E-bikes desenvolvidos

Neste capítulo vão ser exibidos os carregadores solares para E-bikes desenvolvidos na Universidade da Beira Interior (UBI). Os carregadores foram instalados estrategicamente de forma a abranger todo o campus da Universidade da Beira Interior. De seguida, vão ser exibidas as 4 localizações dos postos de carregamento e as suas características.

- **Posto da Faculdade de Engenharia**

Este posto de carregamento possui a estação de carregamento dentro do edifício da Faculdade de Engenharia, como podemos ver na Figura 3.1. Como tal, para os painéis PV terem uma melhor exposição solar foram instalados na cobertura deste mesmo edifício. Este posto possui 4 lugares com possibilidade de carregamento e 16 lugares de parque.



Figura 3.1 Posto de carregamento da Faculdade de Engenharia.

- **Posto da Residência Universitária do Sineiro**

Este posto de carregamento possui a estação de carregamento em um local com baixa exposição solar. Para maximizar a produção fotovoltaica, os painéis solares PV foram instalados numa cobertura onde a exposição solar é mais eficiente. Possui 4 lugares com posto de carregamento e 8 lugares de parque no total.



Figura 3.2 Posto de carregamento da Residência Universitária do Sineiro.

- **Posto da Residência Universitária de Santo António**

Este posto de carregamento possui os painéis solares PV instalados no topo de uma estrutura desenvolvida especificamente para o efeito e para o projeto em questão, esta estrutura vai permitir uma ótima exposição solar uma vez que se encontra ao ar livre. Possui 4 lugares com posto de carregamento e 16 lugares de parque.



Figura 3.3 Posto de carregamento da Residência Universitária de Santo António.

- **Posto da Faculdade de Ciências da Saúde**

Este posto de carregamento possui uma estrutura idêntica ao posto anterior com os painéis solares PV instalados no topo. Permitindo assim uma ótima exposição solar uma vez que se encontra ao ar livre. Possui 4 lugares com posto de carregamento e 16 lugares de parque.



Figura 3.4 Posto de carregamento da Faculdade de Ciências da Saúde.

Na Tabela 3.1 podemos ver as principais características dos postos de carregamento acima descritos.

Tabela 3-1 Características do carregador solar desenvolvido.

Caraterísticas da Estação de carregamento	
Potência solar instalada	2.7 KWp
Ligação à rede	Sim
Armazenamento	Engenharias 9.6KWh
	Outros 2.4KWh
Capacidade de carregamento	4 E-bikes

3.1. Descrição geral dos circuitos implementados

Na Figura 3.2 podemos ver o circuito geral do sistema que foi implementado nas estações de carregamento de E-bikes implementadas na UBI. É um sistema com produção fotovoltaica e armazenamento de energia, interligado com a rede elétrica. Oferecendo assim a possibilidade de efetuar o carregamento de 4 E-bikes em simultâneo, isto, após os utilizadores se identificarem através de um cartão RFID.

A arquitetura selecionada possui um sistema de controlo centralizado que tem a capacidade de gerir e controlar de forma eficiente os vários recursos que este sistema oferece. O inversor possui vários modos de funcionamento podendo efetuar restrições

ou prioridades, por exemplo priorizar a energia solar e/ou a energia armazenada nas baterias.

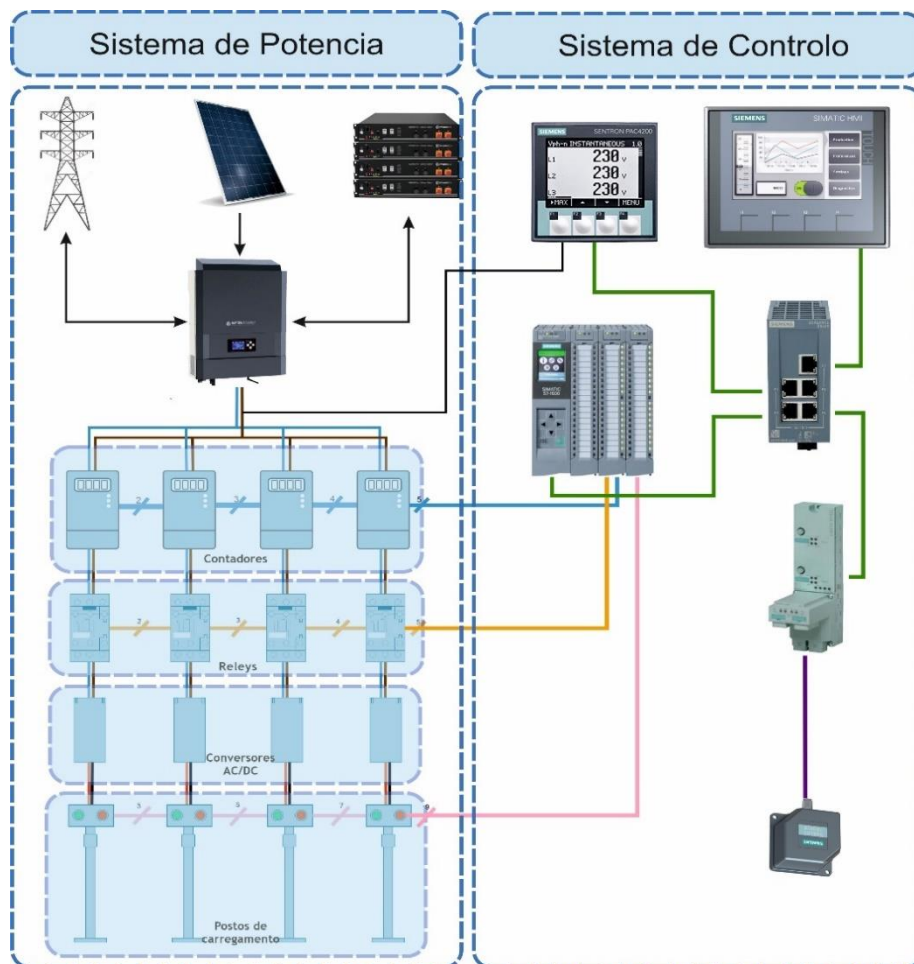


Figura 3.5 Arquitetura do circuito geral do sistema desenvolvido.

3.1.1. Principais componentes do sistema

- **Sistema de produção fotovoltaico**

O sistema de produção PV utilizado nos postos de carregamento, teve como base um sistema de produção descentralizado. Assim, foi instalado em cada posto o seu próprio sistema de produção PV, composto por um array de painéis PV Jinko Eagle de 72 células (Figura 3.6). Estes painéis PV do tipo policristalino caracterizam-se por ser até 17% mais eficientes que o modelo anterior e por serem mais resistentes a condições atmosféricas adversas. Possuem um revestimento antirreflexo que permite uma maior absorção de luz o que permite uma potência mais elevada e um desempenho superior.

Figura 3.6 Painel PV *Jinko Eagle* 72 células.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as principais características técnicas dos painéis PV utilizados.

Tabela 3-2 Características do painel PV.

Caraterísticas do Painel PV Jinko Eagle 72	
Tipo de célula	Policristalina
Nº de células	72 (6x12)
Dimensões	195.6x99.2x4.0 cm
Peso	26.5 kg
Tensão de circuito aberto	47.2 V
Corrente de curto-circuito	9.18 A
Potência máxima/pico	335 Wp
Temperaturas de operação	-40°C~+85°C

Um dos elementos essenciais para estudar o comportamento dos painéis PV é sua curva característica corrente-tensão (I-V), que descreve o funcionamento destes dispositivos de acordo com as condições de irradiância e temperatura a que estão sujeitos.

A curva característica (I-V) de um painel PV é obtida, através da medição dos pares de dados corrente-tensão, variando a carga aos seus terminais. Assim através do resultado do produto entre (I e V) surge a potência P sendo possível traçar a curva característica de potência-tensão (P-V).

Na Figura 3.7 podemos observar as curvas características I-V e P-V dos painéis PV Jinko Eagle 72 utilizados nos postos de carregamento para E-bikes.

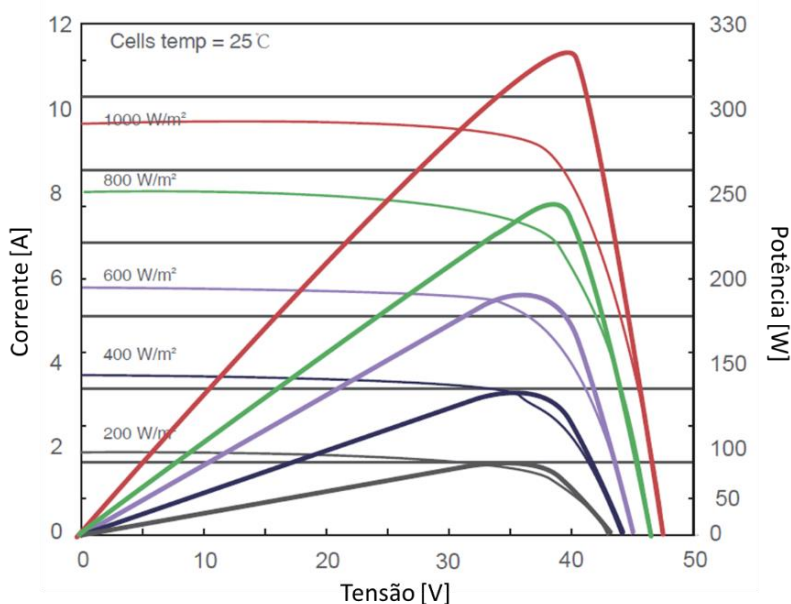


Figura 3.7 Curvas características I-V e P-V dos painéis PV Jinko Eagle 72.

- **Sistema de conversão e interligação com a rede**

O sistema de conversão e interligação com a rede é composto por o inversor híbrido IMEON 3.6 que podemos ver na Figura 3.8. Este sistema possui um conversor CC/CA (inversor) que é responsável por converter a energia elétrica (CC) gerada pelos painéis PV e armazenada nas baterias em corrente alternada (CA), podendo assim alimentar cargas (AC) ou injetar a energia na rede elétrica. Este inversor possibilita ainda armazenar e controlar o carregamento em diversos tipos de baterias.



Figura 3.8 Inversor híbrido Imeon 3.6.

Na Tabela 3.3 são apresentadas as principais características técnicas do inversor utilizado.

Tabela 3-3 Características do Inversor Imeon 3.6.

GRID AC (ON-GRID E OFF-GRID)	
Potência Nominal de Saída	3000 W
Potência Máxima de Saída (3s)	6000 W
Tensão AC / Frequência (entrada e saída)	230 V ($\pm 15\%$) / 50 Hz, 60 Hz (± 5 Hz)
Corrente nominal de saída	13 A
Corrente máxima de entrada	26 A
Injeção na Rede	Sim (Programável)
Prioridades de consumo de energia	Programável (PV / Armazenamento / Rede)
Potência máxima de entrada	Até 4.000 Wp
Número de entradas MPPT	1
Faixa de tensão MPPT	120 V - 440 V
Corrente máxima de entrada	18 A
Tensão máxima de entrada	510 V
Eficiência máxima	DC para AC: > 95,5% (94,5% EU)
BATERIA E CARGA	
Tensão nominal DC	48 V
Corrente de descarga máxima	80 A
Corrente máxima de carga	25 A
Tipo de baterias	Chumbo-ácido, lítio
Eficiência máxima	PV -> bateria: > 94% / Bateria <-> AC: > 93%
Carga da bateria	Programável (limite / tempo: intervalo múltiplo por rede AC)
Descarga da bateria	Programável (2 limites de acordo com a disponibilidade da rede)

- **Sistema de armazenamento**

O sistema de armazenamento de energia (ESS- *Energy Storage System*) é um componente essencial nos sistemas PV autônomos, dado que a produção e o consumo de energia não são coincidentes. Portanto, para assegurar o funcionamento de um sistema PV autônomo é necessário possuir um sistema de armazenamento de energia cuidadosamente dimensionado de forma a suprir a demanda quando não existir, for insuficiente ou inconstante a produção solar.

O sistema de armazenamento presente nos carregadores é constituído por baterias Pylontech da série US200 Plus (Figura 3.9), pertence à gama de baixa tensão da Pylontech e apresenta ser a solução ideal para este projeto. Têm uma tensão de 48V e capacidade standard de 50Ah cada módulo, perfazendo assim 2.4 kWh, tem mais de 6000 ciclos de vida, são modulares e possuem ainda um sistema de comunicação compatível com o inversor IMEON 3.6.



Figura 3.9 Banco de baterias Li-ion Pylontech US200 Plus.

Na Tabela 3.4 são apresentadas as principais características técnicas do sistema de armazenamento.

Tabela 3-4 Carateristicas da Bateria Pylontech US2000 Plus.

Parâmetros	US2000 Plus
Tensão Nominal (V)	48
Capacidade Nominal (Wh)	2400
Capacidade Utilizável (Wh)	2200
Dimensões (mm)	442*410*89
Peso (Kg)	24
Tensão de Descarga (V)	45 ~ 53.5
Tensão de Carga (V)	52.5 ~ 53.5
Corrente de Carga/Descarga (A)	25(Recomendado) 50(Max) 100(Pico 15s)
Portas de Comunicação	RS485, CAN
Ciclo de vida	>6000 e >15 anos
Nível de Autenticação	UL/IEC62619/CE/UN38.3

- **Sistema de controlo**

Um *Programmable Logic Controller* (PLC) é um dispositivo eletrónico que executa operações lógicas, consiste em uma unidade central de processamento (CPU) que contém um *software* e módulos de interface de I/O, que se encontram diretamente ligados aos atuadores. Durante a sua operação, o PLC realiza três operações de maneira cíclica como podemos ver na Figura 3.10, o denominado *scan* ou ciclo de varrimento: (1) faz a leitura das entradas, (2) executa o *software* que se encontra na memória, (3) e escreve ou atualiza as saídas e memórias[25] [26].

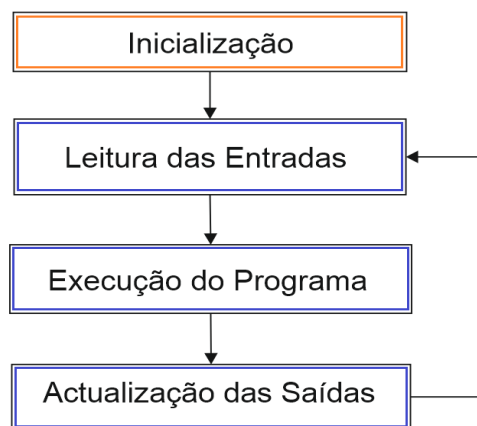


Figura 3.10 Ciclo de varrimento de um PLC.

Neste projeto foi utilizado o PLC SIMATIC S7-1512C-1PN, ilustrado na Figura 3.11, possui um CPU com 250 Kb de memória de trabalho e 1Mb de memória de dados, tem 32 entradas digitais, 32 saídas digitais, 5 entradas analógicas, 2 saídas analógicas, 6 contadores de alta velocidade, 4 saídas de alta velocidade para PTO/PWM/saída de frequência, possui ainda uma interface *Profinet* com conector de 2 portas e um *slot* para cartão de memória SIMATIC (obrigatório).



Figura 3.11 Controlador logico programavel Siemens S7-1512C-1PN.

- **Sentron PAC 4200**

O dispositivo de medição multifuncional SENTRON PAC 4200 representado na Figura 3.12, mede os valores e parâmetros de potência na distribuição de energia. Pode ser usado em redes monofásicas e multifásicas e fornece dados importantes para avaliar o estado do sistema e a qualidade da energia.

Com o SENTRON PAC 4200 é possível medir parâmetros como: tensão, corrente, potência aparente, ativa e reativa, fator de potência, frequência, valores de potência diários para 365 dias, registo do perfil de carga, média $U / I / S / P / Q / LF$, fator de potência, ângulo de fase e harmônicos.



Figura 3.12 Medidor multifuncional Sentron PAC4200.

- **HMI SIMATIC KPT400 Basic**

O dispositivo SIMATIC KPT400 Basic, ilustrado na Figura 3.13, é uma interface homem máquina (HMI) com uma dimensão de 4.3" possui 4 teclas programáveis e função *touchscreen*. Tem uma ligação *Profinet* para comunicação com o PLC.



Figura 3.13 HMI SIMATIC KPT400 Basic.

- **RF-180c**

Para realizar a comunicação entre o PLC e o leitor RFID de forma a permitir ler e escrever dados nos cartões RFID é necessário um módulo de comunicação. Para este projeto foi utilizado o modelo *SIMATIC* RF180C (Figura 3.14 a)) que permite a ligação por PROFINET ao PLC oferecendo taxas de transferência de dados até 100 *Mbit/s*. A ligação aos leitores RFID é realizada através do protocolo de comunicação RS422 através de um conector M12 de oito pinos [27].



Figura 3.14 Módulo de comunicação RF-180C e leitor RFID RF340R.

- **RF340R**

O leitor RF SIMATIC RF340, representado na Figura 3.14 b), é um sistema RFID indutivo especialmente desenvolvido para uso na produção industrial para o controlo e otimização do fluxo de produção. Ao apresentar dimensões reduzidas, o RF340 é a

escolha óbvia onde as condições de instalação são restritas, especialmente em linhas de montagem. O RF340 é adequado para aplicações RFID simples e complexas e se destaca por sua relação preço/desempenho.

- **Switch**

O módulo Siemens SCALANCE XB005X possui 1 entrada e 4 saídas. Este módulo lógico tem uma tensão de alimentação nominal de 24 VCC e uma corrente nominal de 0.07 A. Este *switch Ethernet* permite estruturar uma rede de comunicação industrial em linha ou estrela.



Figura 3.15 Switch Ethernet utilizado.

3.2. Circuito de potência desenvolvido

Na Figura 3.16, podemos ver o circuito de potência que foi implementado nas estações de carregamento de E-bikes da UBI. É um sistema que possui produção fotovoltaica, interligação com a rede e armazenamento de energia elétrica.

O circuito de potência tem uma tensão de 230 Vac e a energia é proveniente do inversor híbrido Imeon 3.6. É composto por: 7 disjuntores para proteção do circuito; 4 contadores que acionam os postos de carregamento; e 4 transformadores AC/DC de 48Vdc que possibilitam efetuar o carregamento das E-bikes.

O circuito possibilita carregar quatro E-bikes em simultâneo, onde são utilizados os conversores DC/AC de 48Vdc fornecidos por o fabricante da E-bike uma vez que ainda não existe um conector padrão nem um protocolo de comunicação para controlo do carregamento, exceto para os níveis típicos de tensão de 24V, 36V e 48V [16].

Para cada posição dos postos de carregamento, existem quatro elementos principais que interagem com o circuito de comando. Esses dispositivos principais utilizados no circuito de potência são explicados se seguida:

- **Smart Meters** – são contadores inteligentes que permite fazer medições com uma determinada periodicidade definida pelo programador do sistema e enviar os dados dessas medições para a unidade de controlo [28]. Esses dados no caso desta dissertação, depois processados, servem para determinar o consumo energético de cada posto de carregamento.
- **Disjuntores** - são dispositivos eletromecânicos capazes de estabelecer, conduzir, interromper e suportar correntes, em condições normais e anormais de funcionamento do sistema elétrico [29]. Em condições normais de funcionamento estes dispositivos funcionam sem perturbar o fluxo da corrente elétrica. Em condições anormais de funcionamento estes dispositivos oferecem proteção contra curto-circuitos, correntes de sobrecarga e a mitigação das consequências negativas das descargas atmosféricas.
- **Contatores** – são dispositivos que permitem, a partir de um circuito de comando efetuar o controlo de cargas num circuito de potência. A partir da polarização da bobina, esta irá gerar um campo eletromagnético que faz com que os contatos alternem a sua posição.
- **Conversores AC/DC** - são dispositivos projetados de forma a alimentar uma carga elétrica, neste caso específico, foram projetados, para possibilitar o carregamento das baterias das E-bikes de 48Vdc.

O circuito de alimentação tem uma tensão de 24 Vdc e a energia é proveniente do conversor presente no PLC, permitindo assim alimentar todos os módulos associados ao sistema de controlo.

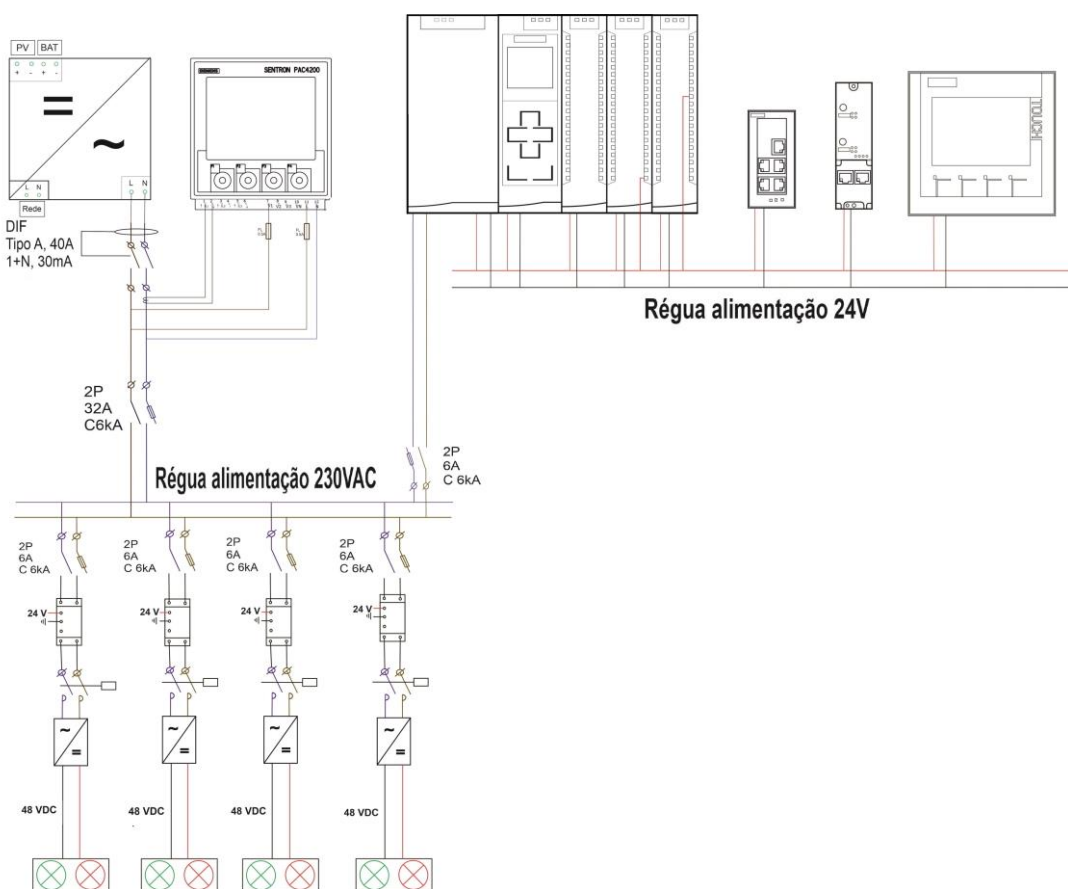


Figura 3.16 Circuito de potência implementado.

3.3. Circuito de comando desenvolvido

Após serem descritos no ponto anterior os diversos componentes do circuito de potência e alimentação, vamos agora descrever o circuito de comando que possibilita o controle dos postos de carregamento de E-bikes.

O circuito de comando, ilustrado na Figura 3.17, é uma parte integrante de um sistema de supervisão e aquisição de dados, comumente conhecidos como sistemas SCADA. É um circuito que interliga os componentes de potência e atuadores de forma a que o sinal proveniente dos atuadores possa influenciar o comportamento dos componentes de potência.

Este circuito possui 4 entradas digitais que recebem os pulsos dos *Smart Meters*, 4 saídas digitais associadas aos contadores e 8 saídas digitais que controlam os indicadores luminosos presentes nos postos de carregamento. Por norma a tensão deste tipo de circuitos é 24Vdc.

O comportamento deste circuito é influenciado pelo programa contido no PLC, assim dependendo da entrada o sistema irá dar uma resposta(saída).

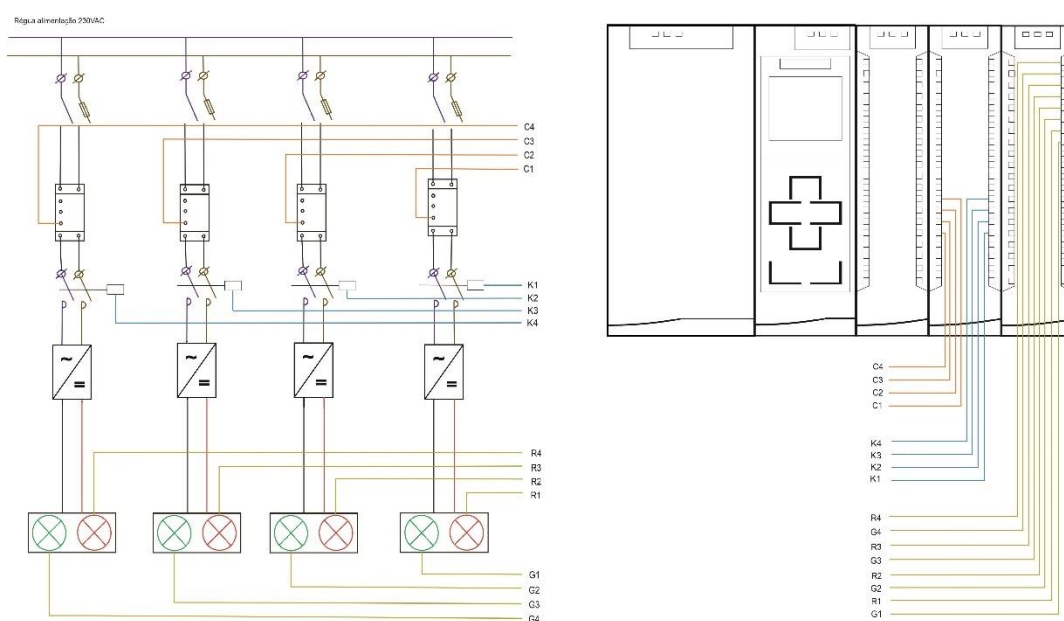


Figura 3.17 Circuito de comando desenvolvido.

No *TIA Portal*, os módulos de I/O são consultados através de endereços de entrada (%I) e endereçados através de endereços de saída (%Q). Na Tabela 3-5 estão descritas as variáveis de entrada digitais onde estão ligados os *smart meters* para que seja possível ler os seus valores.

Tabela 3-5 Variáveis de entrada utilizadas

Entradas Digitais (%I)	Descrição	Endereço no PLC
CT1	<i>Smart meter</i> do posto de carregamento 1	%I11.7
CT2	<i>Smart meter</i> do posto de carregamento 2	%I11.6
CT3	<i>Smart meter</i> do posto de carregamento 3	%I11.5
CT4	<i>Smart meter</i> do posto de carregamento 4	%I11.4

Na Tabela 3.6 são exibidas as variáveis de saída digitais utilizadas para que o PLC possa controlar os contatores de potência dos postos de carregamento e os indicadores luminosos que se encontram nos postos de carregamento e que possibilitam informar os utilizadores se o posto de carregamento se encontra ligado ou desligado.

Tabela 3-6 Variáveis de saída digitais

Saídas Digitais (%Q)	Descrição	Endereço no PLC
P1_ON	Indicador luminoso verde associado ao posto de carregamento 1	%Q6.7
P1_OFF	Indicador luminoso vermelho associado ao posto de carregamento 1	%Q6.6
P2_ON	Indicador luminoso verde associado ao posto de carregamento 2	%Q6.5
P2_OFF	Indicador luminoso vermelho associado ao posto de carregamento 2	%Q6.4
P3_ON	Indicador luminoso verde associado ao posto de carregamento 3	%Q.3
P3_OFF	Indicador luminoso vermelho associado ao posto de carregamento 3	%Q6.2
P4_ON	Indicador luminoso verde associado ao posto de carregamento 4	%Q6.1
P4_OFF	Indicador luminoso vermelho associado ao posto de carregamento 4	%Q6.0
K1	Contator associado ao posto de carregamento 1	%Q5.7
K2	Contator associado ao posto de carregamento 2	%Q5.6
K3	Contator associado ao posto de carregamento 3	%Q5.5
K4	Contator associado ao posto de carregamento 4	%Q5.4

3.4. Circuito de comunicação desenvolvido

Podem ser definidos como caminhos que possibilitam a leitura e partilha de dados ou informações e a supervisão de processos, são um aspeto valioso para o desenvolvimento da eficiência de um sistema. Tudo isso através de um meio físico, conectado com cabos de rede específicos de cada protocolo, ou usando redes wireless.

As redes de comunicação podem ser divididas em grupos como: redes baseadas em *Fieldbus* (*Profibus* e *DeviceNet*), *Ethernet* (*Profinet*, *EthernetIP* e *EtherCat*), e Protocolos mais alinhados com a Indústria 4.0 (como *OPC/UA* e *TSN*) [30].

No sistema SCADA do carregador solar de E-bikes todas as operações são controladas pelo PLC S7-1500, tratando-se assim de um sistema de controlo centralizado. A comunicação entre os componentes é efetuada através de *Profinet e modbus RTU* como podemos ver na Figura 3.18.

Os dispositivos ligados através de *PROFINET I/O* são endereçados através de MAC (*Media Access Control*) ou IP (*Internet Protocol*). Com base no nome e no endereço MAC/IP, o controlador consegue reconhecer os dispositivos e, assim, atribuir um endereço IP, usando o protocolo DCP (*Discovery and Configuration Protocol*) integrado no PROFINET I/O [31].

Já a ligação aos leitores RFID é realizada através do protocolo de comunicação RS422 através de um conector M12 de oito pinos. Para a configuração do sistema em questão em questão, aos componentes ligados através de *PROFINET* foram atribuídos os seguintes endereços IP:

- **PLC** – 192.168.0.1;
- **RF-180c** – 192.168.0.2;
- **Consola HMI** – 192.168.0.3;
- **Sentron PAC 4200** – 192.168.0.4
- **Computador**: 192.168.0.99.

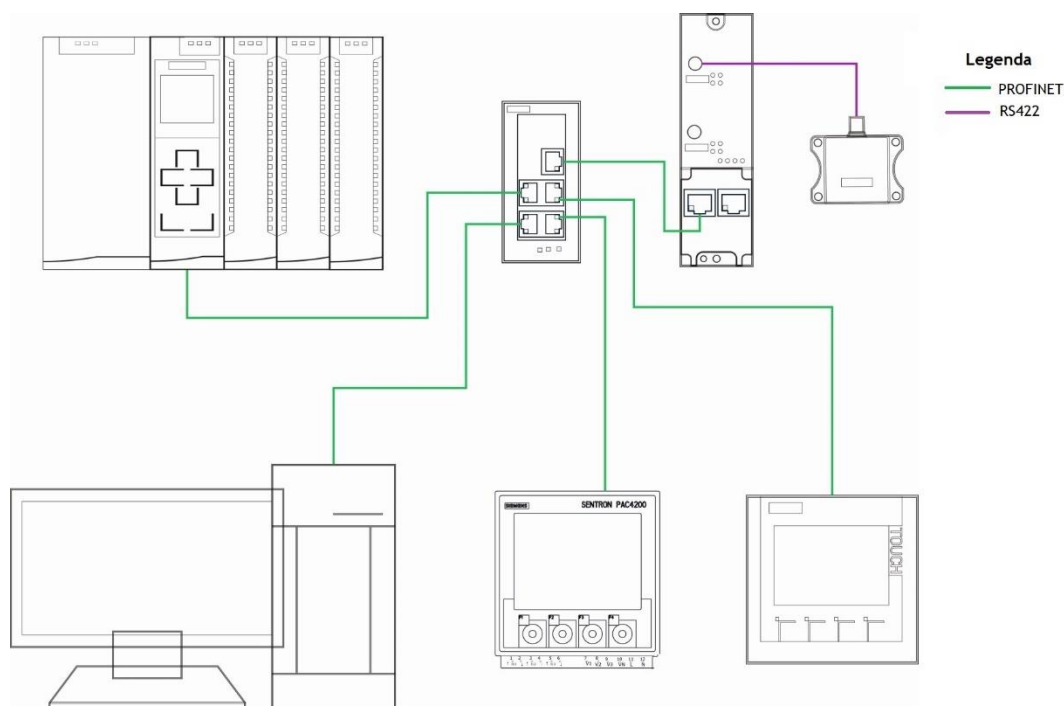


Figura 3.18 Circuito de comunicação implementado.

4. Software desenvolvido

Após serem descritos no capítulo anterior os principais componentes da interface física do sistema, vamos neste capítulo descrever a implementação de um programa que possibilite o controlo do sistema apresentado no capítulo anterior.

4.1. Software utilizado

O *software* desenvolvido nesta dissertação foi elaborado no *Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)* da Siemens, na versão 15.1. Esta ferramenta de desenvolvimento caracteriza-se por ser um *software* para configuração, programação, teste e diagnóstico dos diversos controladores do fabricante. É provido de uma variedade de funções de fácil utilização, garantindo assim uma economia de custo significativa no desenvolvimento de tarefas de automação. Permite assim a criação de projetos e também conversão de projetos desenvolvidos em programas de versões anteriores e efetuar migrações [32]. Apresenta um ambiente gráfico bastante intuitivo como podemos ver na Figura 4.1

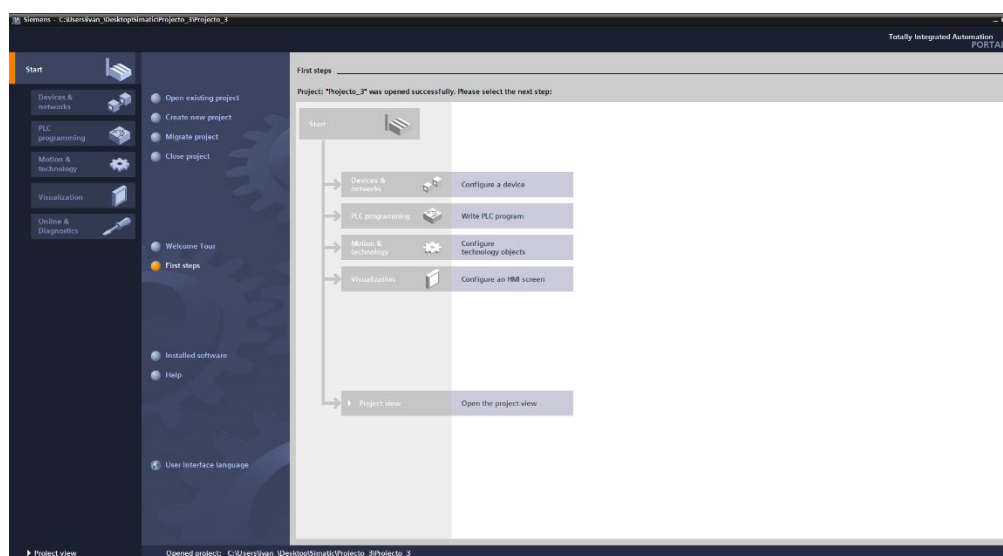


Figura 4.1 Página inicial do *software* TIA Portal V15.1

Possui uma programação estruturada, ou seja, o programa pode ser dividido em blocos, geridos e ordenados conforme desejar e posteriormente chamados no bloco principal [33]. Os tipos de blocos existentes, como podemos ver na Figura 4.2, são:

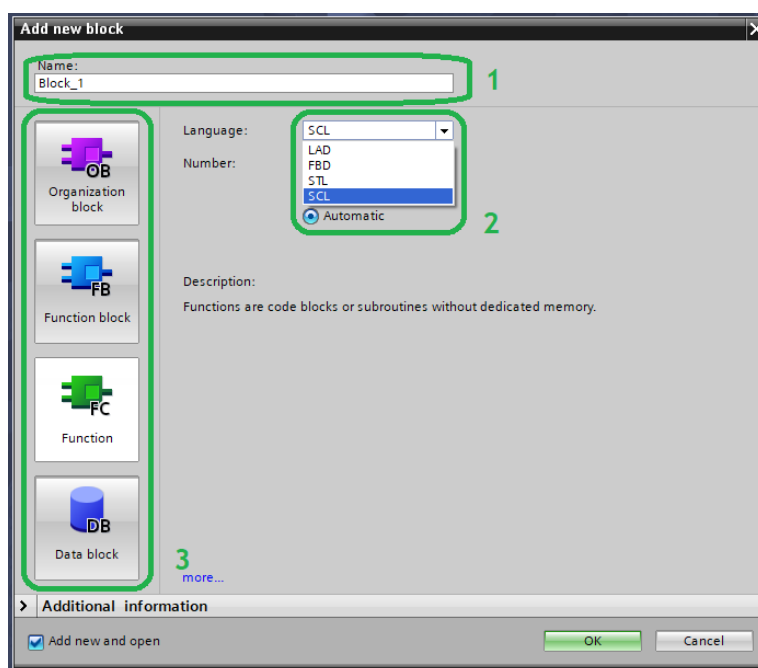
- **OB (bloco de organização):** Um bloco OB é chamado ciclicamente pelo sistema operativo formando uma interface entre o programa do utilizador e o sistema operativo. Neste OB, a unidade de controlo do PLC é informada sobre os

comandos que deverão ser processados pelos blocos do programa. Se forem incluídos outros OBs em um programa, esses OBs interrompem a execução do OB1 para executar funções específicas, como tarefas de inicialização, interrupções e erros, ou para executar o código de um programa específico em intervalos de tempo específicos.

- **FC (função):** Uma função FC é uma sub-rotina que é executada quando chamada por outro bloco de código OB, FB ou FC. Uma função FC não tem um bloco de dados de instância associado. Um DB quando é chamado passa parâmetros para a FC. Os valores de saída da FC devem ser gravados em um endereço de memória ou em um bloco de dados DB.

FB (bloco de função): O FB necessita de um espaço de memória atribuído para cada chamada (instância). O bloco de chamada passa parâmetros para o FB e também identifica um bloco de dados específico (DB) que armazena os dados para a chamada ou instância específica desse FB. Os dados neste DB de instância são, então, acessados através das variáveis do FB. Quando este for chamado várias vezes, diferentes espaços de memória deverão ser atribuídos a um FB. Num bloco de função poderão ser chamados outros FB e FC. Pode-se dizer que um FB é uma função com dados próprios.

- **DB (bloco de dados):** Os DB são usados para disponibilizar espaço de memória para as variáveis de dados. Existem dois tipos de blocos de dados. DB globais, onde todos os OB, FB e FC podem ler os dados armazenados ou gravar dados no DB e DB de instância, que são atribuídos a um determinado FB. Pode-se dizer que os DB são estruturas de dados.



1-Nome do bloco 2-Tipos de linguagem 3-Blocos de programação

Figura 4.2 Menu disponibilizado para criar um novo bloco.

O SIMATIC S7-1500 possui também a capacidade de trabalhar com variados formatos de dados, através dos quais é possível representar as informações. Na Tabela 4-1 podemos observar a lista com os diversos formatos de dados suportados por o PLC [34].

Tabela 4-1 Tipos de dados do Simatic S7-1500.

Tipo de dados	Tamanho (bits)	Gama	Exemplo
<i>Bool</i>	1	0 to 1	TRUE, FALSE, 0, 1
<i>Byte</i>	8	16#00 to 16#FF	16#12, 16#AB
<i>Word</i>	16	16#0000 to 16#FFFF	16#ABCD, 16#0001
<i>DWord</i>	32	16#00000000 to 16#FFFFFFFF	16#02468ACE
<i>Char</i>	8	16#00 to 16#FF	'A', 'r', '@'
<i>Sint</i>	8	-128 to 127	123, -123
<i>Int</i>	16	-32,768 to 32,767	123, -123
<i>Dint</i>	32	-2,147,483,648 to 2,147,483,647	123, -123
<i>USInt</i>	8	0 to 255	123
<i>UInt</i>	16	0 to 65,535	123
<i>UDInt</i>	32	0 to 4,294,967,295	123
<i>Real</i>	32	$\pm 1.18 \times 10^{-38}$ to $\pm 3.40 \times 10^{38}$	123.456, -3.4, 1.2E+12 3.4E-3
<i>LReal</i>	64	$\pm 2.23 \times 10^{-308}$ to $\pm 1.79 \times 10^{308}$	12345.123456789 -1.2E+40
<i>Time</i>	32	T#-24d_20h_31 m_23s_648ms to T#24d_20h_31 m_23s_647ms Saved as: -2,147,483,648 ms to +2,147,483,647 ms	T#5m_30s 5#-2d T#1d_2h_15m_30x_45ms
<i>String</i>	Variável	0 to 254	'ABC'
<i>Array</i>		Os dados são organizados um após o outro e endereçados consecutivamente na área de endereço. As propriedades de cada elemento do array são idênticas e configuradas na tag do array.	
<i>Struct</i>		O tipo de dados STRUCT representa uma estrutura de dados que consiste em um número fixo de componentes de diferentes tipos de dados	

4.1.1. Linguagens de programação

Existem 5 linguagens consideradas padrão para uso em PLCs, de acordo com o padrão IEC 61131-3 [35]. Estas podem ser divididas em dois grupos: as linguagens gráficas onde se insere o *Ladder Diagram* (LD), *Sequential Function Charts* (SFC) e *Function Block*

Diagram (FBD) e as linguagens de texto como *Instruction List* (IL) e Texto Estruturado (ST).

É verdade que, as linguagens gráficas podem ser simples para iniciantes, mas pode ser muito difícil de entender caso estejamos a falar de programas complexos. Portanto, o que pode parecer fácil de aprender e usar inicialmente nem sempre é a solução ideal. Caso estejamos a abordar projetos mais complexos e extensos, ao usar uma linguagem de programação PLC baseada em texto, o programa ocupará muito menos espaço e será mais fácil de ler e compreender [36][37].

Após serem analisadas as várias possibilidades de linguagem para programar o PLC da série S7-1500, foi decidido desenvolver o respetivo *software* na linguagem de texto estruturado (ST). Esta linguagem foi selecionada por ser a mais indicada para o projeto em questão uma vez que é um programa com algum grau de complexidade que carece de tratamento de dados que iria ser difícil de concretizar caso fosse feito em uma linguagem gráfica.

Esta é uma linguagem de alto nível projetada para programar PLCs. Este é essencialmente o C++ do mundo PLC, como podemos ver na Figura 4.3. A sintaxe do Texto Estruturado foi desenvolvida para se parecer com a sintaxe de uma linguagem de programação de alto nível com *loops*, variáveis, condições e operadores. Qualquer programa de PLC que requeira tratamento de dados complexos, provavelmente, será desenvolvido em texto estruturado [35].

```
1 // Este ciclo compara os dados lidos no cartão com a lista de utilizadores
2
3
4 FOR "i" := 1 TO 50 DO
5     IF ("utilizadores".lista["i"] ="ident_data".read_number) THEN
6
7         "utilizadores".flag := 1;
8         "posto".reset_ct := 1;
9
10    END_IF;
11
12
13 END_FOR;
14
15
16 IF ("utilizadores".flag = 1) THEN
17
18     "ident_data".state := 4;
19
20 END_IF;
21
22
23 IF ("utilizadores".flag = 0) THEN
24
25     "ident_data".state := 2;
26 END_IF;
27
28
```

Figura 4.3 Exemplo da linguagem ST no TIA Portal.

4.2. Programa desenvolvido

O *software* desenvolvido deve ser capaz de controlar todas as ações do posto de carregamento: deve possibilitar a escrita e leitura em cartões RFID de modo a criar novos utilizadores e identificar os mesmos, tem que gerir quando e quais os postos de carregamento que são acionados após o utilizador passar um cartão RFID válido, deve guardar um histórico de utilização dos postos de carregamento depois de o carregamento estar completo e também um registo dos parâmetros da energia proveniente do inversor.

Na ótica do utilizador para poder utilizar o carregador solar de E-Bikes da UBI o utilizador tem de possuir um cartão RFID. Este, deve passar o cartão no leitor RFID para que o sistema após confirmar que o utilizador está autorizado inicie o processo de carregamento da E-bike.

A dinâmica de utilização dos carregadores, como podemos ver na figura 4.4, consiste em um ciclo que pode ser dividido em 4 etapas, que são: estacionar; passar o cartão RFID; carregar a E-bike, andar de e-bike.

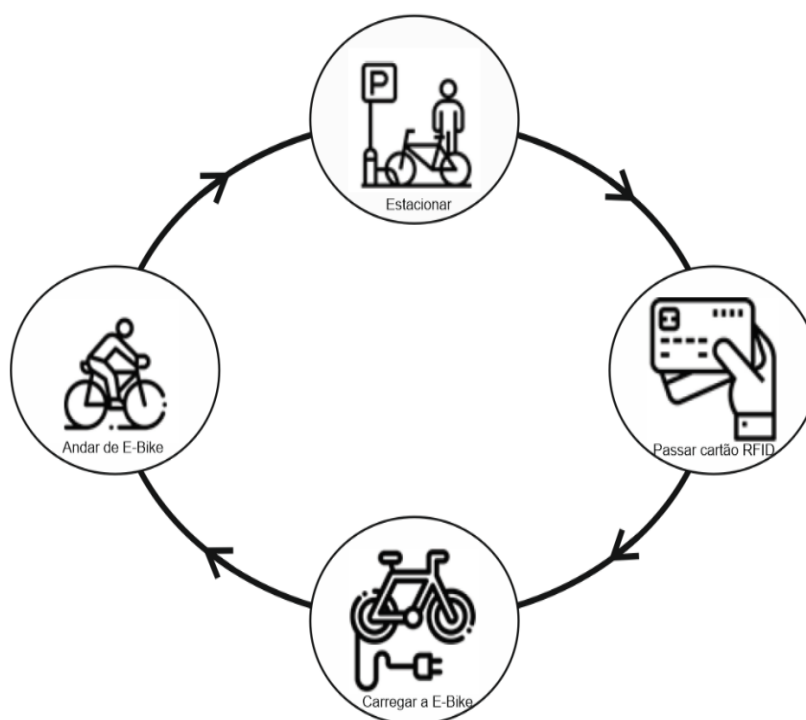


Figura 4.4 Dinâmica de funcionamento do carregador.

O programa está dividido em 7 estados, numerados de 0 a 6. Cada um dos estados deve desempenhar a sua função específica.

- **Main**

Na Figura 4.5 é possível visualizar o fluxograma da estrutura geral do funcionamento do *software*. O ciclo principal de funcionamento (*main*) é executado de forma cíclica e é responsável por chamar cada um dos estados de forma a desempenharem a sua função. Nessa situação, o controlo da execução do programa é assumido pelos diversos estados, que ao terminar a sua tarefa retornam o controlo para função *main*.

O ciclo principal de funcionamento (*main*) inicia-se com um *reset* ao leitor RFID, que é realizado no Estado 0. Após ser executado este estado o *software* transita para o estado 2.

O estado 1 não é executado de forma cíclica, tem de ser obrigatoriamente chamado de forma manual por um técnico responsável para que sejam introduzidos os dados que deseja gravar no cartão RFID.

No estado 2, após a leitura de um cartão RFID de um potencial um utilizador, o *software*, transita para o estado 3. No entanto, este estado, é ainda responsável por remeter o *software* periodicamente aos estados 5 e 6 que guardam, respetivamente, os dados dos carregamentos e os parâmetros da energia.

O estado 3 é responsável por verificar se o utilizador está presente na lista de utilizadores autorizados. Após concluir este procedimento, se o utilizador estiver autorizado o *software* transita para o estado 4, se não estiver autorizado retorna para o estado 2.

O estado 4 é responsável por controlar os postos de carregamento, no entanto, o *software*, transita também para o Estado 4 em períodos de 80 segundos, onde verifica o estado dos postos de carregamento. Quando este estado termina todas as instruções volta para o estado 2, no entanto, se detetar que algum carregamento foi completado vai transitar para o estado 5 onde vão ser guardados esses dados.

No estado 5 o *software* vai guardar todos os dados associados ao processo de carregamento como: data; hora de início; hora de fim; número do posto; utilizador; e energia fornecida. Após concluir este procedimento volta para o estado 2.

No estado 6 vão ser guardados os parâmetros referentes a energia elétrica que colmata a demanda do posto, tais como: tensão; corrente; frequência; potência (ativa, reativa e aparente).

No caso de existir alguma falha na leitura dos cartões RFID, o *software* retorna ao Estado 0, onde efetua sempre um *reset* ao leitor RFID, eliminando os erros registados e colocando-o de novo pronto a executar as suas funções.

O ciclo principal de funcionamento é responsável por efetuar a comunicação com o Sentron PAC4200, com a página web e ainda a execução da função onde estão presentes os contadores dos postos de carregamento.

De seguida vão ser descritos e exemplificados através de um fluxograma os diversos estados do programa.

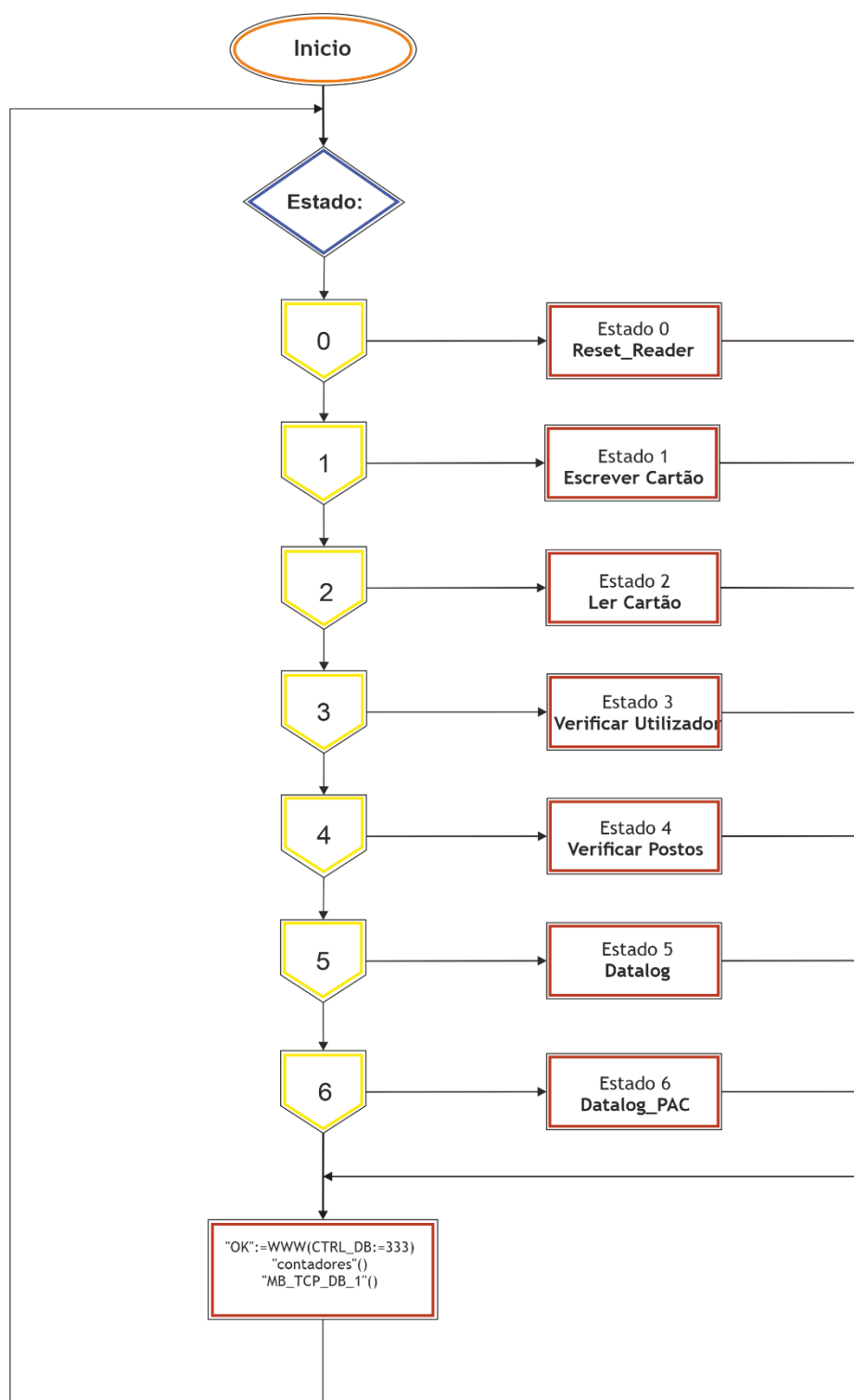


Figura 4.5 Fluxograma da função Main.

- Estado o “Reset Leitor”

Este estado é executado quando se inicia o PLC ou quando existe um erro no momento de leitura ou escrita. O *software* redefine os parâmetros do leitor RFID para que este esteja operacional, colocando-o em um estado de leitura.

Como algumas instruções necessitam de mais do que um ciclo de varrimento do PLC foi necessário criar condições para que o programa progrida para o estado seguinte só quando estas instruções estiverem concluídas, como podemos ver no fluxograma da Figura 4.6.

Após terminar todas as instruções, vai transitar para o estado 2.

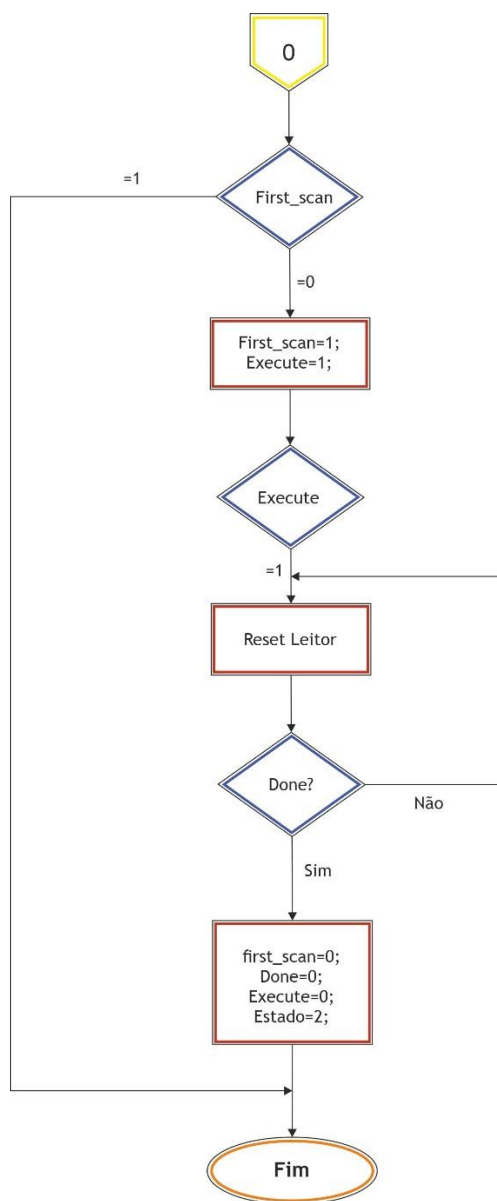


Figura 4.6 Fluxograma do Estado o – “Reset Leitor”.

- **Estado 1 “Escrever Cartão”**

Este estado possibilita gravar os dados dos utilizadores nos cartões RFID para que futuramente possam ser utilizados nos postos de carregamento de E-bikes. O *software* não entra neste estado de forma cíclica, portanto é necessário que seja chamado manualmente pelo técnico responsável, introduzido assim os dados que devem ser armazenados no cartão, que são o nome e número.

Ao visualizar a Figura 4.7 constatamos que a dinâmica do estado 1 consiste em: (1) limpar o cartão, (2) transformar as *strings* correspondentes ao nome e número em um vetor de *char* para que possa ser escrito no cartão, (3) Após detetar a presença de um cartão, escreve os dados no mesmo, prosseguindo apenas quando esta ação estiver concluída (4) grava o número do cartão na lista de utilizadores autorizados (5) Quando todas as instruções da função estiverem concluídas retorna para estado 2.

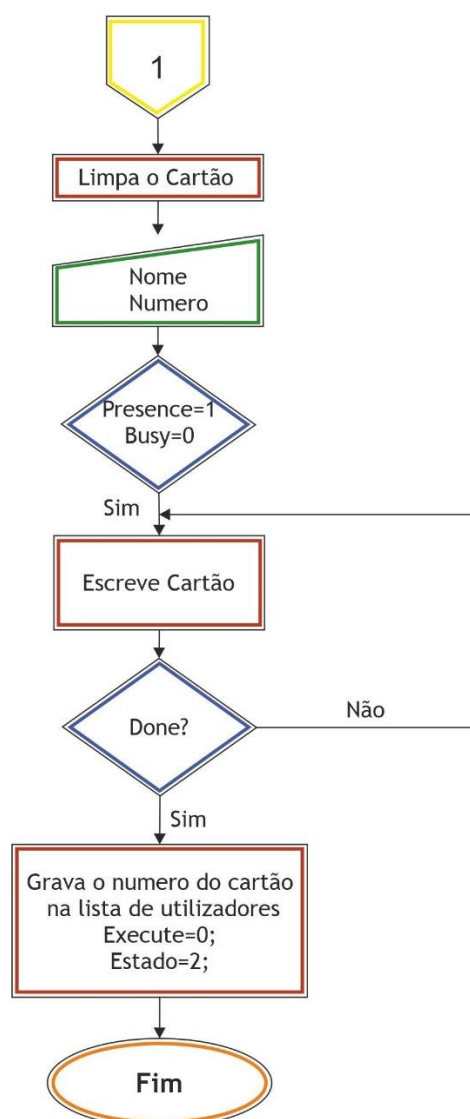


Figura 4.7 Fluxograma do estado 1 - “Escrever Cartao”.

- Estado 2 “Ler Cartão”

Neste estado, ilustrado na Figura 4.8, o *software* coloca o leitor RFID num estado de leitura e aguarda pela presença de um potencial utilizador. Quando o sistema deteta a presença de um cartão vai ler os dados que estão gravados no cartão. Após este procedimento estar finalizado vai transformar os dados do cartão em 2 *strings* (nome e número) e prossegue para o estado 3 onde será verificado se o utilizador está habilitado a usar o carregador de E-Bikes.

Este estado periodicamente também transita para o estado 6 quando o timer 1 atinge o valor de 300 segundos ou para estado 4 quando o timer 2 atinge o valor de 80 segundos, onde, respetivamente, grava os dados referentes aos parâmetros da energia elétrica (tensão, corrente, frequência, potência, etc.) ou verifica o estado dos postos de carregamento.

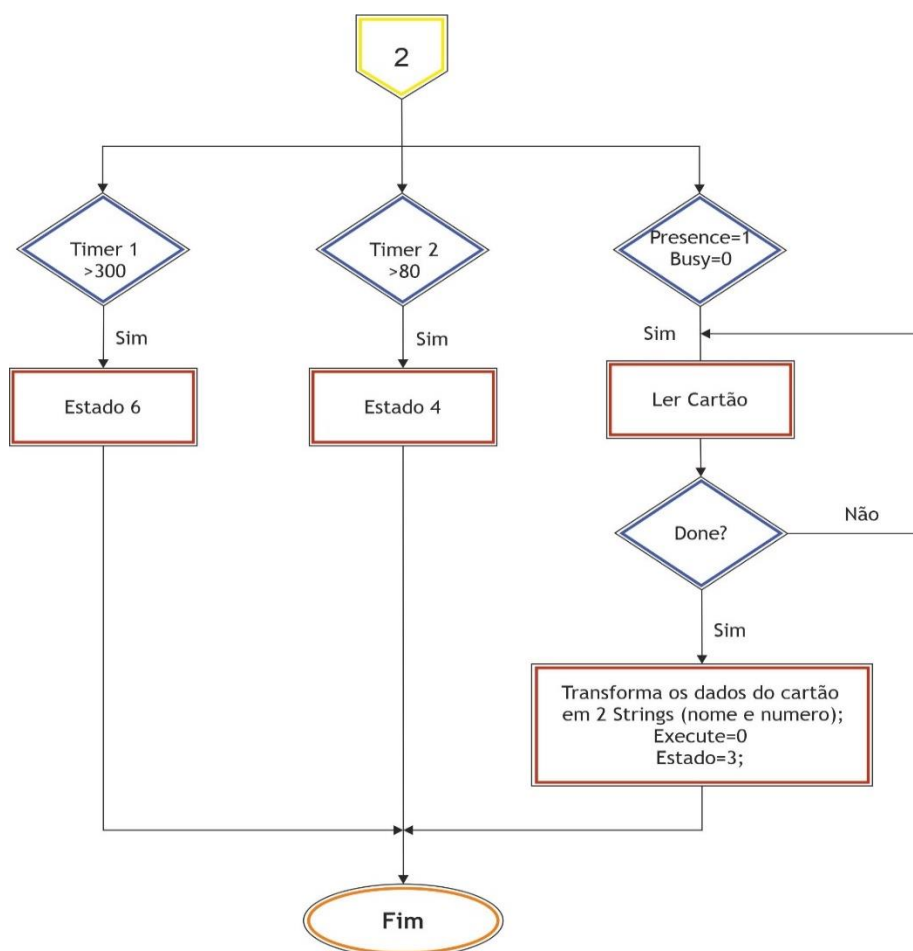


Figura 4.8 Fluxograma do estado 2 – “Ler Cartão”.

- Estado 3 “Verificar Utilizador”

Este estado é ativado na presença de um potencial utilizador. Como podemos constatar na Figura 4.9 é responsável por verificar se o utilizador está inserido na base de dados de utilizadores previamente autorizados para efetuar o carregamento. Para efetuar este procedimento este estado percorre uma lista de 50 utilizadores, onde compara os dados lidos no cartão RFID com a base de dados. Caso seja encontrada uma igualdade, significa, que o cartão é válido e o utilizador está autorizado a utilizar o posto de carregamento.

Se o utilizador estiver autorizado vai alterar o valor de uma variável, a que chamamos *Flag*, que é crucial para determinar o caminho a seguir. Se o utilizador estiver autorizado a variável *Flag* assume o valor 1 e o sistema prossegue para o estado 4, se o utilizador não estiver autorizado a variável *Flag* assume o valor 0, e assim retornamos para o estado 2.

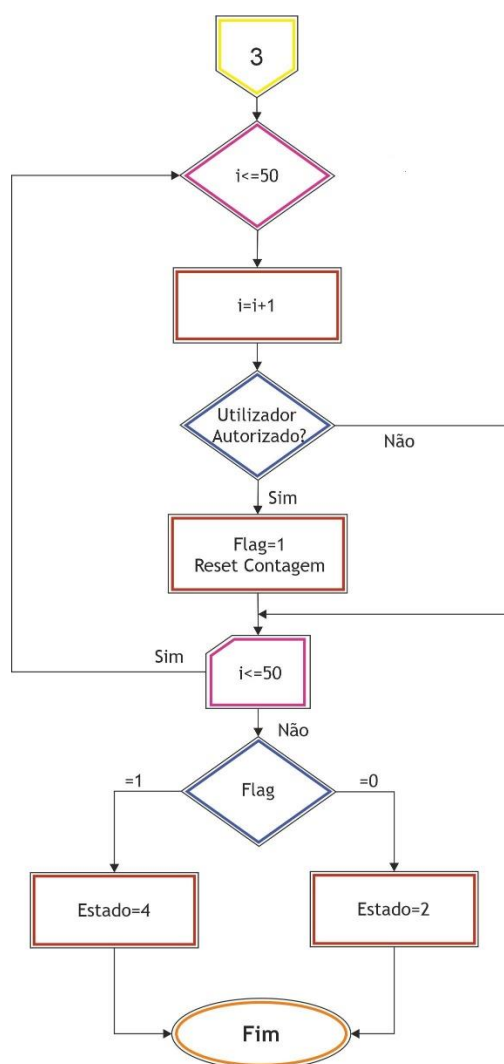


Figura 4.9 Fluxograma do estado 3 – “Verificar Utilizador”.

- **Estado 4 “Verificar Posto”**

Este estado é responsável por controlar e verificar a situação em que se encontram os postos de carregamento. No entanto, o *software* pode entrar neste estado de duas formas distintas, através do estado 3 ou quando do Timer 2 atinge o valor de 80 segundos.

Quando entra através do estado 3 este apenas vai ligar os Relés para que as E-Bikes possam iniciar o carregamento. Uma vez que o Timer 2 é menor que 80 porque foi reiniciado no estado 3 e a variável *Flag* tem o valor 1 o que implica ligar os relés K1, K2, K3, K4 como podemos verificar no fluxograma da Figura 4.10.

Quando entra porque o valor do Timer 2 é superior a 80 segundos o programa vai verificar em que situação os postos se encontram, isto é, se não está a carregar, se está a carregar ou se já carregou.

O controlador determina o estado do sistema verificando se certas condições são verdadeiras:

- Se o contador estiver com a contagem a zero significa que o posto não está a carregar. E faz com que o sistema desligue o relé, desligue a luz verde e ligue a luz vermelha.
- Se a contagem atual for maior que a anterior significa que o posto está a carregar. Isto implica que a contagem anterior passe a ser igual a atual, ligue a luz verde e desligue a vermelha.
- Se a contagem for igual à anterior significa que o posto já terminou o carregamento. Implicando assim que o programa efetue os seguintes procedimentos, desligar o relé, ligar a luz vermelha, desligar a luz verde e guardar os dados referentes ao carregamento (Utilizador, Hora, Número do posto e Energia consumida).

Na parte final do programa como podemos ver no fluxograma da Figura 4.10, podem ser seguidos dois caminhos: Se o valor da variável “V.aux” for 0 o programa regressa ao estado 2. Caso o valor desta variável seja 1 o programa vai para o estado 5 onde irá guardar os dados referentes ao carregamento (Utilizador, Hora, Número do posto, Energia consumida) em um ficheiro .csv que pode depois ser descarregado através da página web.

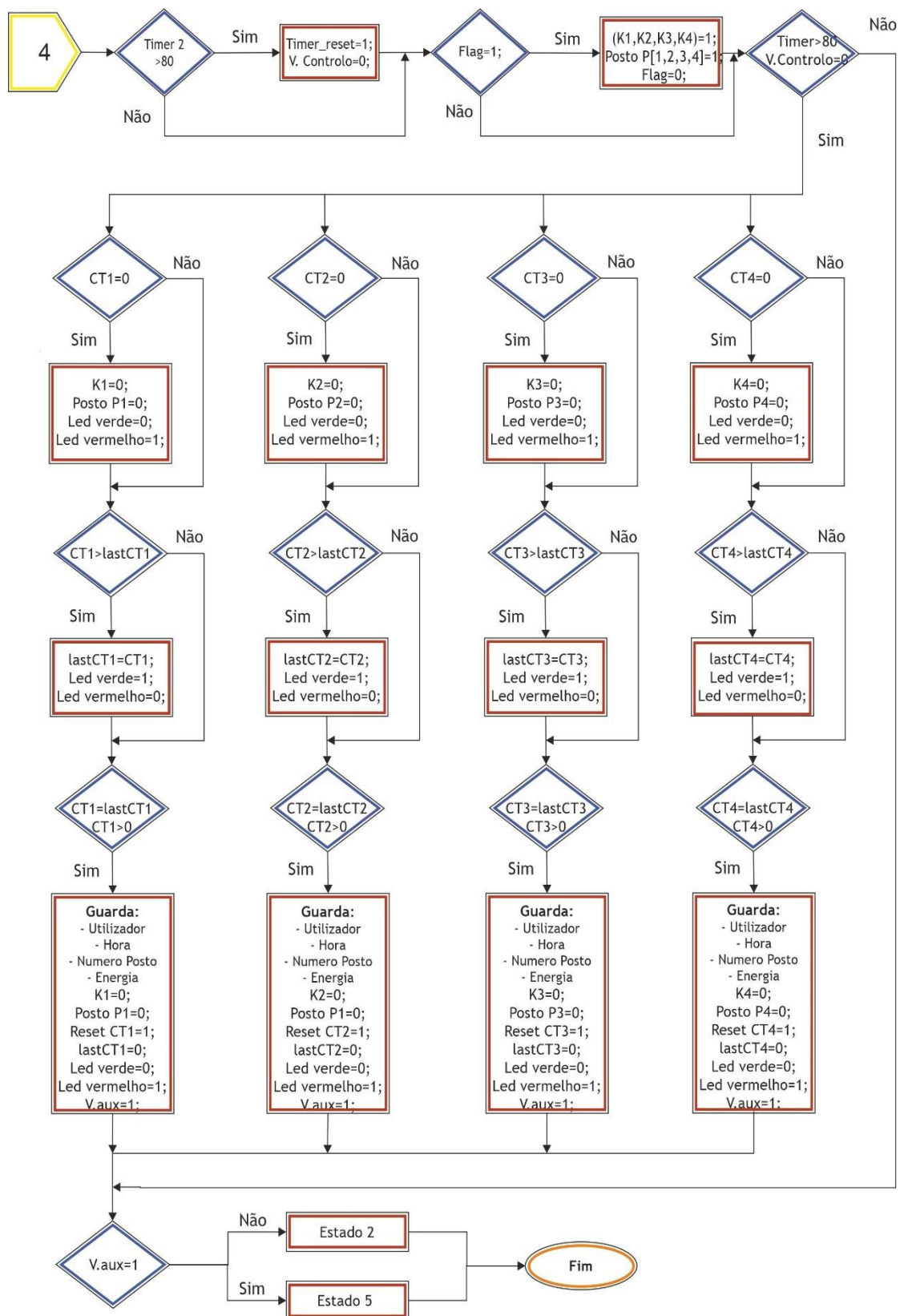


Figura 4.10 Fluxograma do estado 4 – “Verificar Posto”.

- Estado 5 “Datalog” e Estado 6 “Datalog Energia”

Nestes dois estados o programa vai guardar todos os parâmetros associados ao processo de carregamento em um ficheiro (.csv) que pode ser posteriormente descarregado através da página web.

No estado 5 onde está inserida a função “Datalog” vão ser guardados dados referentes aos postos de carregamento, tais como: data; hora de início; hora de fim; número do posto; utilizador; e energia fornecida, concebendo assim um histórico da utilização dos postos de carregamento.

No estado 6 onde está inserida a função “Datalog Energia” vão ser guardados dados referentes aos parâmetros da energia elétrica, como: tensão; corrente; frequência; potência (ativa, reativa e aparente).

A dinâmica destes estados como podemos ver nos fluxogramas da Figura 4.11 consiste em: (1) Criar o documento, (2) Abrir o documento, (3) Escrever no documento, (4) Fechar o documento. Após todas estas ações estarem concluídas ambas as funções forçam o programa a regressar ao estado 2.

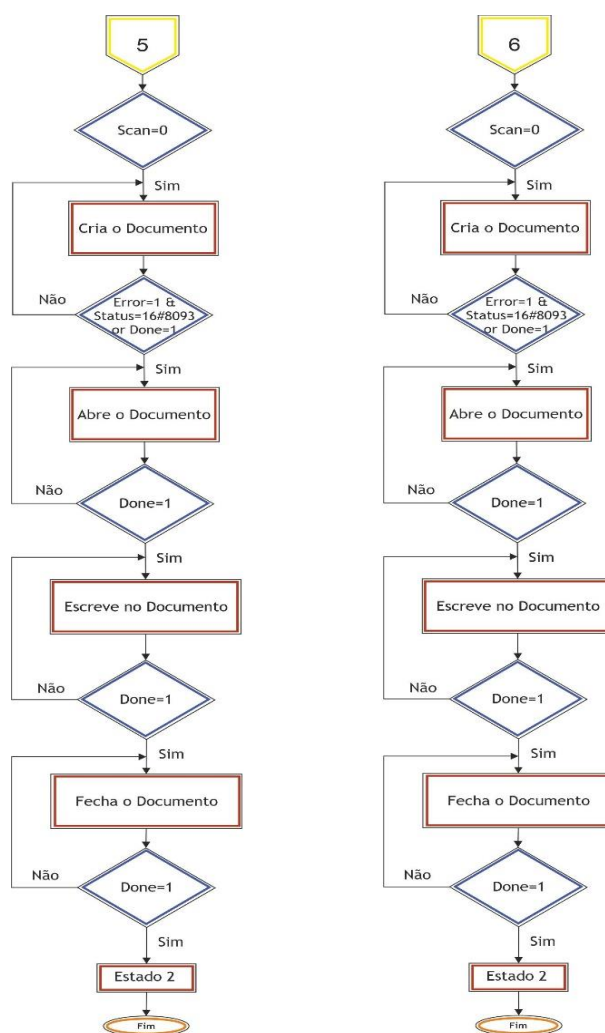


Figura 4.11 Fluxograma Datalog e Datalog Energia.

4.3. Sistema SCADA

Os sistemas de supervisão e aquisição de dados, comumente conhecidos como sistemas SCADA, pertencem ao grupo de sistemas para controlo de processos industriais que são usados para controlar unidades geograficamente dispersas. Uma característica importante é a exigência de dados confiáveis em tempo real [38].

Os sistemas SCADA podem ter graus de complexidade diferenciados, dependendo do processo que estão a controlar e da sua implementação. Nos últimos anos podemos ver que cada vez mais estão a ser alvo de investigação científica, onde sistemas cada vez mais complexos são estudados. Dispõem quatro funções essenciais que são: aquisição de dados; apresentação de dados; controlo e monitorização [38][39].

4.3.1. Página Web

A página Web tem uma grande potencialidade de comunicação e monitorização consiste em na integração de um dispositivo, que permita o acesso a um web browser, na rede onde está também ligado o PLC [40]. Uma página web apresenta enumeras vantagens face a um HMI, vantagens essas que são:

- **Liberdade de criação.** Através da linguagem HTML (*Hyper Text Markup Language*) podemos criar o design visual desejado.
- **Diversidade de dispositivos.** É possível aceder a partir de qualquer dispositivo, basta possuir um web browser que possibilite aceder a internet, ao invés de estarmos limitados aos HMI que são equipamentos dispendiosos e não oferecem os mesmos benefícios que uma página web.
- **Sem hardware e software adicionais.** O servidor da web está integrado em qualquer CPU S7-1200 / S7-1500 como padrão. Apenas é necessário um editor de texto.
- **Servidor web integrado.** As páginas web padrão para exibição simples de serviços e informações de diagnóstico podem ser ativadas rapidamente. Além disso, podem ser geradas páginas web definidas pelo usuário criadas individualmente.
- **Independente da localização.** Caso o PLC esteja em uma rede com ligação à internet, o acesso ao seu controlador é possível em todo o mundo por meio de um navegador de Internet padrão, bem como por meio de dispositivos de comunicação móvel, como tablet e smartphone.
- **Segurança.** Para proteção de acesso, usam-se mecanismos padrão de segurança, como VPN (*Virtual Private Network*), proteção de acesso por utilizador e password, etc.

Torna-se assim importante salientar conceitos imprescindíveis de um documento ou página HTML (*Hyper Text Markup Language*) que é o formato utilizado para criar páginas web.

Uma página web pode ser contruída com recurso a um simples editor de texto, como o notepad++. Existem três linguagens essenciais para desenvolver uma página web, que são: HTML, CSS e JavaScript.

O CSS (*Cascading Style Sheets*) é a linguagem que vai melhorar a apresentação da informação, tipo de letra, cores, tamanho, margens, dimensões, etc.

O JavaScript é a linguagem que vai fazer com que a informação receba alguns comportamentos, neste caso específico foi incorporado na página para que esta possa atualizar os dados em segundo plano. No entanto, esta configuração requer páginas web auxiliares como podemos ver no esquema na Figura 4.12, que passam despercebidas ao utilizador, mas vão permitir que as páginas web principais tenham uma atualização em tempo real sem estar constantemente a recarregar todo o conteúdo evitando assim que estejam constantemente a piscar e tornando a navegação mais rápida e fluida. Esta forma de atualização é a que oferece um melhor desempenho como podemos ver na Tabela 4-2.

Existem várias formas de inserir estas linguagens em um ficheiro HTML: dentro de um elemento HTML; num ficheiro externo; por referências; como parâmetro de uma tag HTML.

Tabela 4-2 Formas de atualizar dados em páginas web.

	Atualização Manual	Atualização Automática HTML	Atualização Automática JavaScript
Função	Pressionar a tecla F5 para recarregar a página.	Um intervalo de tempo é definido no cabeçalho do arquivo HTML.	Use JavaScript para atualizar variáveis únicas.
Vantagens	Nenhuma conversão necessária.	Atualização regular.	Atualização regular, poucos dados necessários.
Desvantagens	Não tem atualização automática.	Toda a página da web é recarregada (dados, possivelmente piscam).	Programação necessária para o algoritmo.

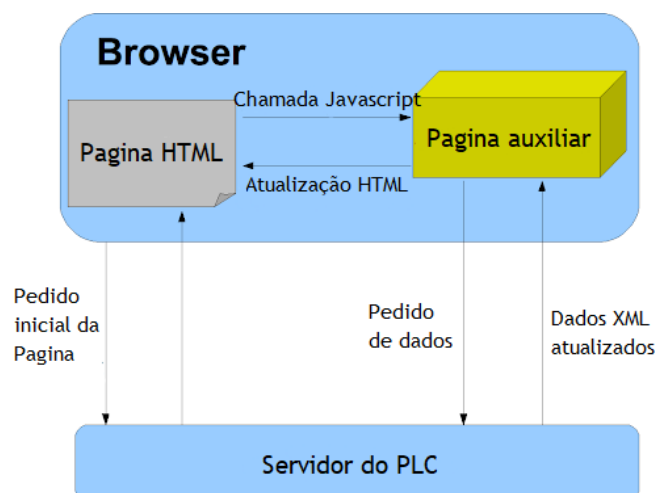


Figura 4.12 Exemplo de atualização de dados através de JavaScript.

Nas seguintes figuras podemos ver as diversas páginas que o PLC disponibiliza. Na Figura 4.13 encontra-se ilustrada a página web que permite visualizar o estado dos 4 postos de carregamento, a energia fornecida a cada E-bike e a hora a que se iniciou o carregamento.



Figura 4.13 Página "Postos de Carregamento" da página web desenvolvida.

Na Figura 4.14 está a página que permite visualizar os parâmetros da energia fornecida ao sistema através do inversor, que são: Potência, Tensão, Corrente e Frequência. Estes parâmetros são medidos com o Sentron PAC4200.



Figura 4.14 Página "Energia" da página web desenvolvida.

Na Figura 4.15 podemos visualizar a página web onde é possível adicionar novos utilizadores, fazer o download do registo de dados relativos aos utilizadores e aos parâmetros da energia elétrica e efetuar um reset ao sistema.

Para descarregar esses ficheiros basta carregar em um link que nos irá direcionar para uma página nativa do próprio PLC (Figura 4.16), onde estão guardados todos os registos de dados.



Figura 4.15 Página "Home" da página web desenvolvida.

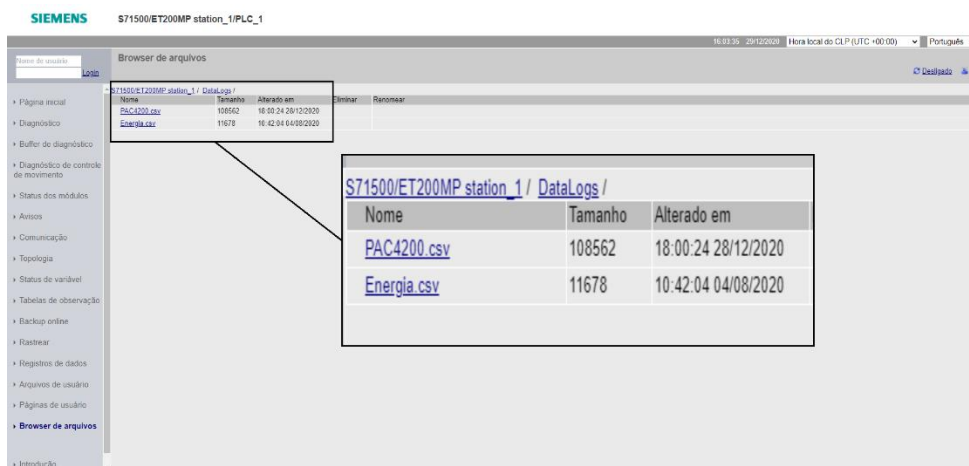


Figura 4.16 Página que possibilita descarregar os ficheiros do registo de dados.

SeqNo	Date	Hora UTC	Início	Usuário	Posto	Energia
1	02-07-2020	19: 52: 54.375	02-07-2020 14: 12: 04.729	2	3	1150
2	02-07-2020	20: 13: 58.366	2020-07-02 20: 12: 37,195	2	3	1
3	02-07-2020	20: 22: 05.189	02-07-2020 20:20: 44.051	2	3	1
4	03-07-2020	06: 59: 03.879	2020-07-02 20: 23: 26.328	2	3	1248
5	03-07-2020	07: 04: 28.469	03-07-2020 07: 00: 25.018	2	3	3

SeqNo	Date	Loc Time	P_Ativa[W]	P_Aparente[VA]	P_Reativa[VAR]	Tensão[V]	Corrente[A]	Frequencia[Hz]
1	07/02/2020	15:09:03.599	-5.702038E+0	2.294939E+1	-2.173818E+1	2.345984E+2	9.782417E-2	5.001274E+1
2	07/02/2020	15:14:03.945	1.479616E+2	1.524420E+2	-3.614925E+1	2.346786E+2	6.495776E-1	4.998582E+1
3	07/02/2020	15:19:04.458	1.487376E+2	1.532035E+2	-3.616954E+1	2.343911E+2	6.536234E-1	5.001256E+1
4	07/02/2020	15:24:04.999	1.485208E+2	1.529789E+2	-3.614099E+1	2.343121E+2	6.528849E-1	4.997973E+1

Figura 4.17 Exemplo de dados descarregados da página web.

4.3.2. HMI

Além da página web, o carregador, possui também um painel HMI onde é possível verificar o estado do sistema. Este dispositivo oferece uma solução que se adapta às necessidades específicas desta aplicação, ao nível de desempenho e dimensões. Para este projeto foi usado o modelo SIMATIC KTP400 Basic que possui uma tela sensível ao toque de 4.3 polegadas com resolução de 480x272px e quatro teclas físicas que podem ser programadas com qualquer função desejada.

A Figura 4.18 mostra a tela principal desenvolvida para este projeto. A Figura 4.19 mostra as informações sobre o estado dos postos de carregamento.

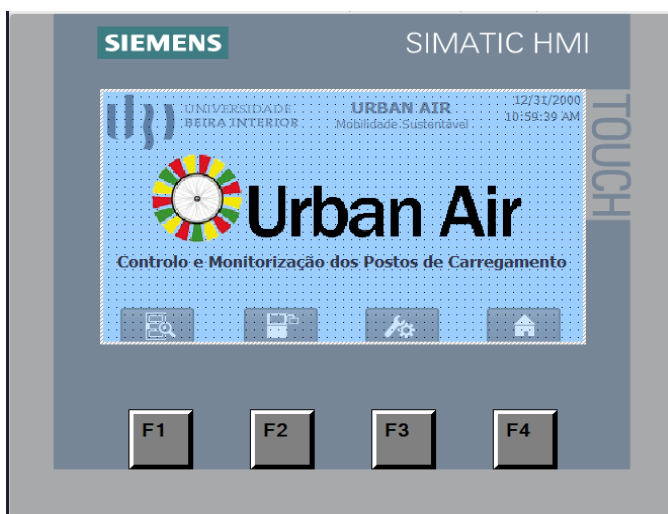


Figura 4.18 Tela inicial do painel HMI.

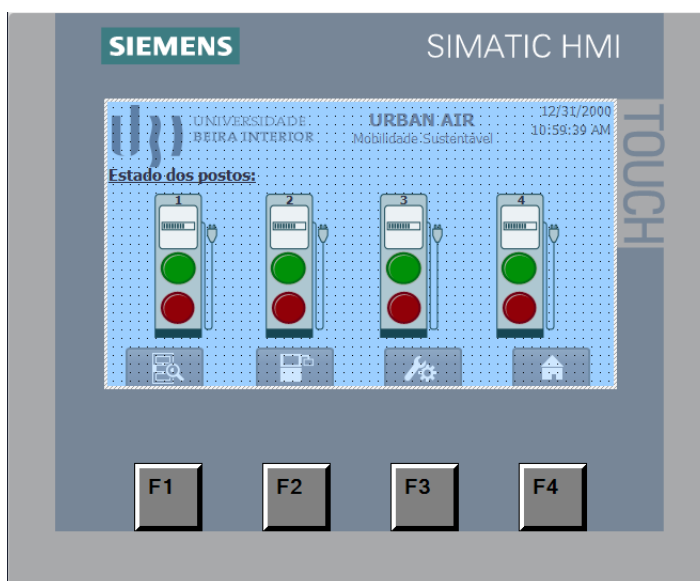


Figura 4.19 Tela que permite visualizar o estado dos postos no painel HMI.

5. Análise e Discussão dos Resultados

Neste capítulo vão ser descritos detalhadamente os resultados dos ensaios efetuados bem como os procedimentos para que estes ensaios pudessem ser realizados.

5.1. Simulação

Como as E-bikes que pertencem ao projeto ainda não foram distribuídas realizaram-se diversos ensaios com diferentes condições de funcionamento com o objetivo de validar e analisar o funcionamento dos carregadores.

Para realizar estes ensaios foi efetuada a medição do carregamento de uma E-bike. Através dos dados recolhidos por o Sentron PAC4200, foi possível traçar o perfil de carga de uma E-bike. Posteriormente foram criados perfis de carregamento de forma a replicar o a utilização do posto de carregamento e verificar o comportamento do sistema ao logo do tempo.

Para traçar o perfil de carga, uma E-Bike foi carregada de 0 a 100% e ao mesmo tempo foram recolhidos dados desse carregamento através do SENTRON PAC4200 e do PLC S7-1500. No fim esses dados foram descarregados através da página web disponibilizada pelo PLC e assim foi possível obter o perfil de carga da Figura 5.1.

Após termos os dados do perfil de carga de uma E-bike foram criados dois perfis de carregamento de carácter aleatório, distribuindo o perfil de carga ao logo de 24 horas de forma a simular a afluência dos utilizadores das E-Bikes ao posto de carregamento.

Através deste procedimento foi obtida a potência total instantânea absorvida nos postos de carregamento. O perfil de carregamento 1 tem um consumo medio de 132.5 W/h, já o perfil de carregamento 2 tem uma média de consumo 251.5 W/h.

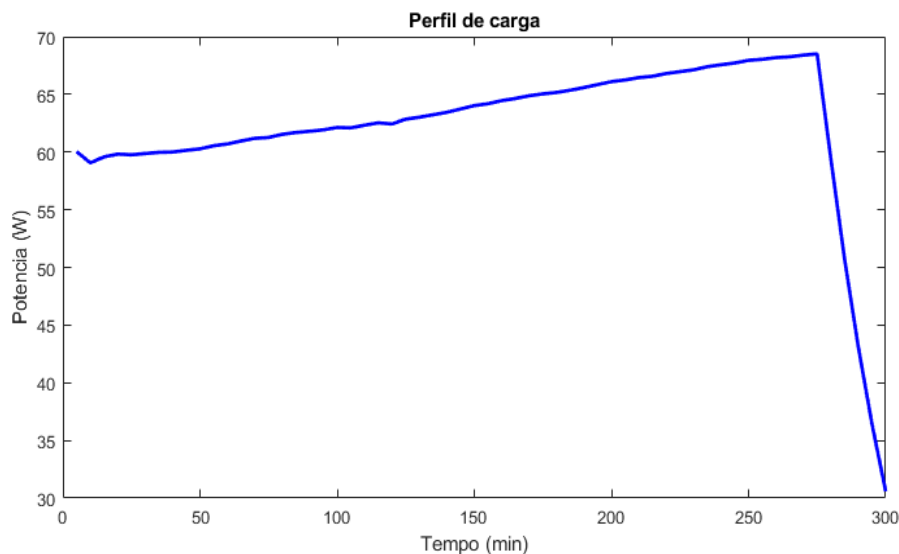


Figura 5.1 Perfil de carga de uma E-Bike.

5.2. Resultados

Através da página web podemos ter acesso a todos os dados em um *dashboard* em tempo real e também exportar esses dados em diversos formatos para uma posterior análise.

Ao longo do mês julho e novembro foram feitas simulações para obter dados relativos ao funcionamento do carregador. Depois de tratada essa informação obtivemos os gráficos que de seguida irão ser analisados.

5.2.1. Ensaio 1

Num primeiro ensaio, efetuado com o perfil de carregamento 1, verificamos que produção fotovoltaica começou por volta das 7 horas e terminou às 18 horas. Na primeira metade do dia, apresenta uma forma sinusoidal, característica da produção fotovoltaica, atingindo no seu ponto máximo cerca de 1750W.

Da análise da Figura 5.2, podemos constatar que a produção fotovoltaica é nula entre as 0 e as 7 horas e a unidade de armazenamento apresentava um SOC de 90%. Nesta situação, a unidade de controlo priorizou a utilização da unidade de armazenamento para suprir a demanda.

Entre as 7 e as 14:30 horas a unidade de controlo optou por utilizar a produção fotovoltaica para suprir a demanda do perfil de carregamento. No entanto, até às 12:30 horas o excedente da produção fotovoltaica foi utilizado para carregar a unidade de armazenamento. Já a partir das 12:30 horas, como o SOC da unidade de armazenamento era 100%, isto implicou que, esse excedente fosse injetado na rede elétrica.

No intervalo entre as 14:30 horas e as 19 horas, foi possível verificar que, a demanda do posto de carregamento foi suprida por todos os tipos de fontes de energia disponíveis (PV, unidade de armazenamento e rede).

Já a partir das 19 horas e até ao final, como o SOC do sistema de armazenamento estava a 100%, a unidade de controlo optou pela utilização do sistema de armazenamento, evitando assim recorrer à rede elétrica.

O SOC do sistema de armazenamento, ao longo do ensaio, nunca baixou de 65% mesmo tendo o perfil de carregamento 1 um consumo médio de 132.5 W/h. Assim, concluímos que o carregador desenvolvido conseguiu garantir a sustentabilidade do sistema com recurso apenas à produção fotovoltaica e à unidade de armazenamento.

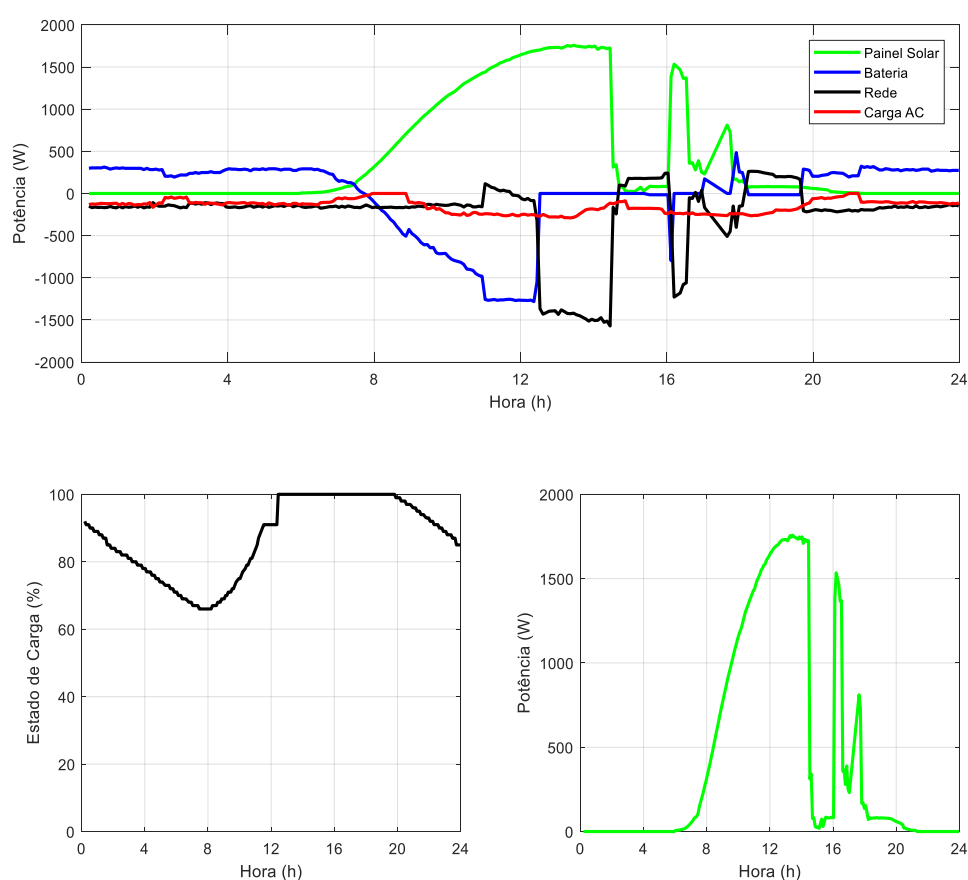


Figura 5.2 Gráficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 1.

5.2.2. Ensaio 2

Num segundo ensaio, efetuado também com o perfil de carregamento 1, a produção fotovoltaica começou às 7 horas e terminou às 19 horas, como podemos visualizar na Figura 5.3. A linha correspondente à produção fotovoltaica apresenta uma forma sinusoidal atingindo no seu pico uma produção aproximadamente de 1800W. Verificamos ainda dois momentos onde existe uma quebra de produção.

No período entre as 0 e as 7 horas, a unidade de controlo priorizou a utilização da unidade de armazenamento. Esta decisão deve-se ao facto de não existir produção fotovoltaica e a unidade de armazenamento apresentar um SOC de 85%.

Entre as 7 e as 19 horas a demanda do perfil de carregamento foi suprida pela produção fotovoltaica, onde, até às 13 horas o excedente de energia foi utilizado para carregar a unidade de armazenamento. Depois das 13 horas, o excedente da produção fotovoltaica foi injetado na rede elétrica, visto que o SOC da unidade de armazenamento estava a 100%.

Já a partir das 19 horas e até ao final, e como o SOC da unidade de armazenamento estava a 100%, a unidade de controlo optou por utilizar a unidade de armazenamento, evitando assim recorrer à rede elétrica.

Como podemos ver na análise da Figura 5.3 o SOC da unidade de armazenamento ao longo do ensaio atingiu um valor de 60%. O sistema desenvolvido mostrou ser capaz de garantir a sua sustentabilidade recorrendo apenas a energias renováveis, evitando assim recorrer à rede elétrica e aos seus custos inerentes.

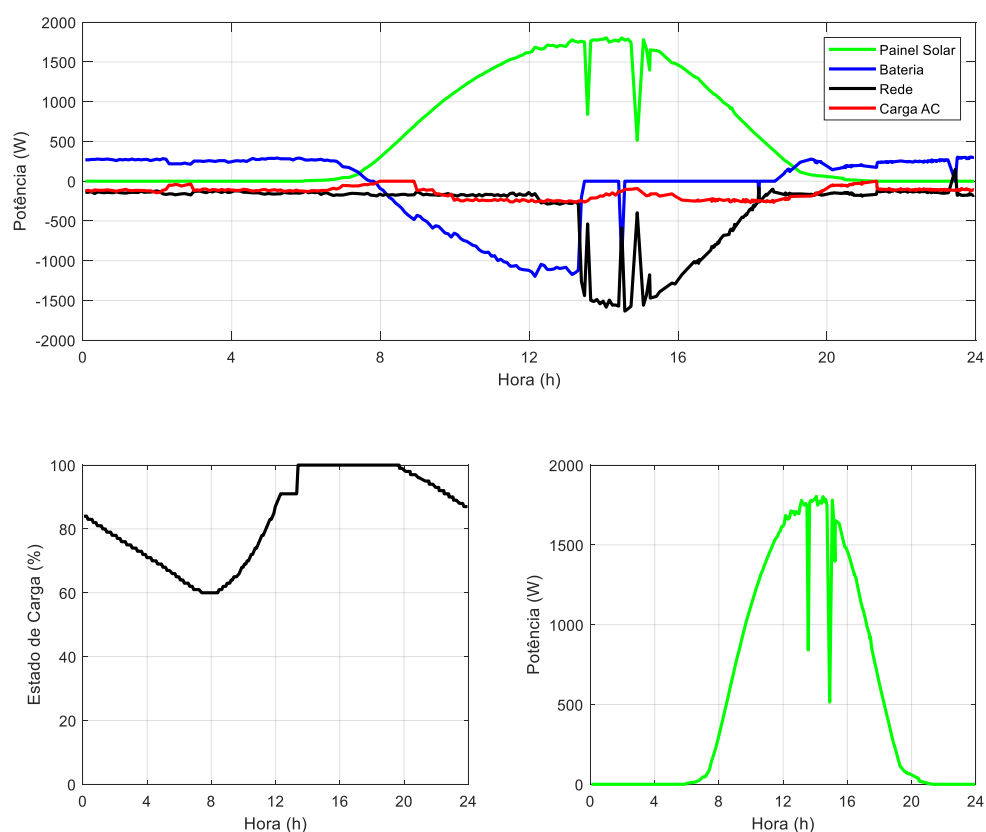


Figura 5.3 Gráficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 2

5.2.3. Ensaio 3

Num terceiro ensaio, efetuado também com o perfil de carregamento 1, conferimos que a produção fotovoltaica começou por volta das 8:30 horas e terminou às 18 horas, como podemos visualizar na Figura 5.4. A linha correspondente à produção fotovoltaica apresenta uma forma irregular devido a uma grande instabilidade da radiação solar, verificando-se picos de produção de 1800W entre as 12 e as 14 horas.

No período entre as 0 e as 8:30 horas, podemos verificar que a produção fotovoltaica foi nula. Assim, a unidade de controlo priorizou a utilização da unidade de armazenamento para suprir a demanda associada ao perfil de carregamento, já que no início deste período o seu SOC era superior a 90%.

No período entre as 8:30 e as 17 horas podemos constatar que a produção fotovoltaica foi capaz de suprir a demanda dos postos de carregamento. Onde, até às 12:30 o excedente de energia foi utilizado para carregar a unidade de armazenamento e a partir das 12:30 horas, esse excedente de produção foi injetado na rede elétrica, já que o sistema de armazenamento se encontrava com o SOC a 100%.

Já a partir das 17 horas e até ao fim do ensaio, a produção fotovoltaica foi nula e, conseqüentemente, a unidade de controlo optou pela unidade de armazenamento para colmatar a demanda dos postos de carregamento.

Em suma, podemos concluir que o sistema desenvolvido foi capaz de garantir a sustentabilidade do posto de carregamento recorrendo apenas à energia dos painéis fotovoltaicos e ao sistema de armazenamento. Além disso, o sistema desenvolvido garantiu que o SOC da unidade de armazenamento nunca baixasse de 80%.

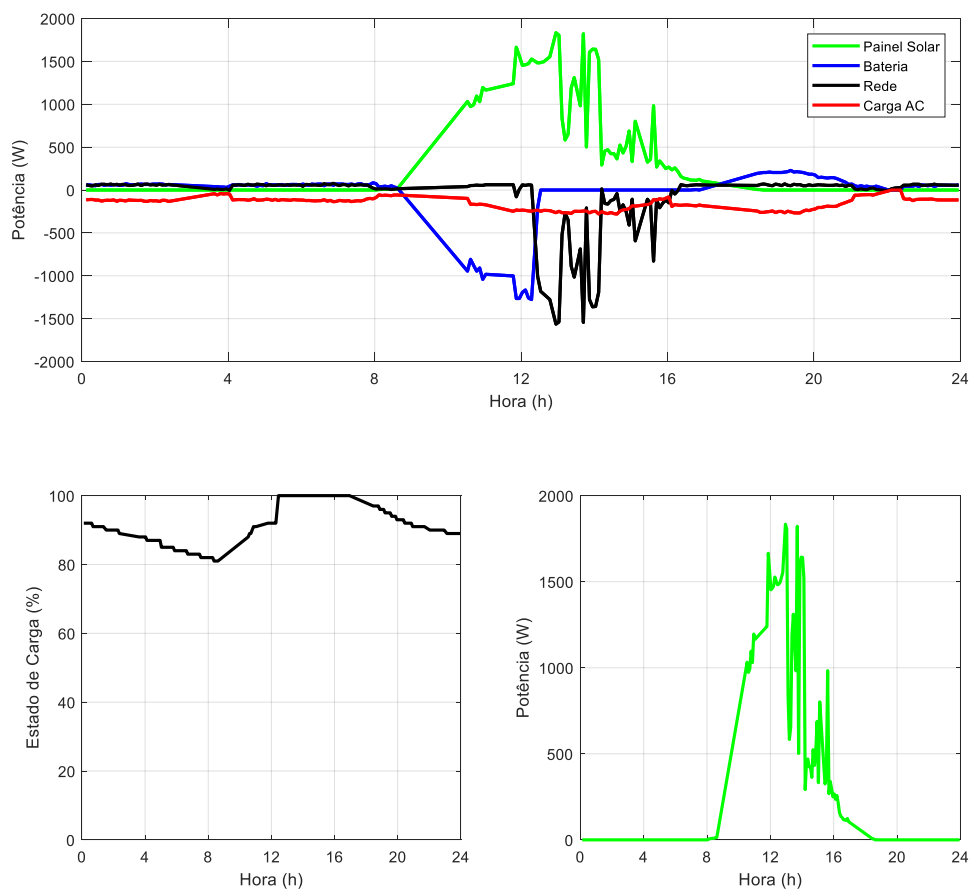


Figura 5.4 Gráficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 3.

5.2.4. Ensaio 4

Num quarto ensaio, efetuado nas mesmas condições de funcionamento que os anteriores, com o perfil de carregamento 1, verificamos que produção fotovoltaica começou às 6 horas e terminou às 16 horas. Como podemos ver na Figura 5.5, a linha que ilustra a produção fotovoltaica atingiu uma produção máxima de 1500W por volta das 13 horas.

No período entre as 0 e as 6 horas, a produção fotovoltaica foi nula e como, inicialmente, a unidade de armazenamento apresentava um SOC de 90%, foi priorizada a utilização da unidade de armazenamento para suprir a demanda do perfil de carregamento.

Entre as 6 e as 16 horas, a demanda do sistema foi suprida pela produção fotovoltaica. No entanto até às 12 horas o excedente da produção foi utilizado para carregar a unidade de armazenamento, já a partir das 12 horas, como o SOC da unidade de armazenamento estava a 100%, isso conduziu a que o excedente fosse injetado na rede elétrica.

Já a partir das 16 horas e até ao final do ensaio, constatou-se que, a energia utilizada para colmatar a demanda dos postos de carregamento foi proveniente da unidade de armazenamento, uma vez que o seu SOC era de 100%, evitando assim recorrer à rede elétrica.

Através da observação da Figura 5.5, podemos verificar que o SOC da unidade de armazenamento nunca baixou de 80%. Assim sendo, podemos concluir que nas condições em que este ensaio foi realizado o sistema garantiu a sustentabilidade com recurso apenas a energias renováveis.

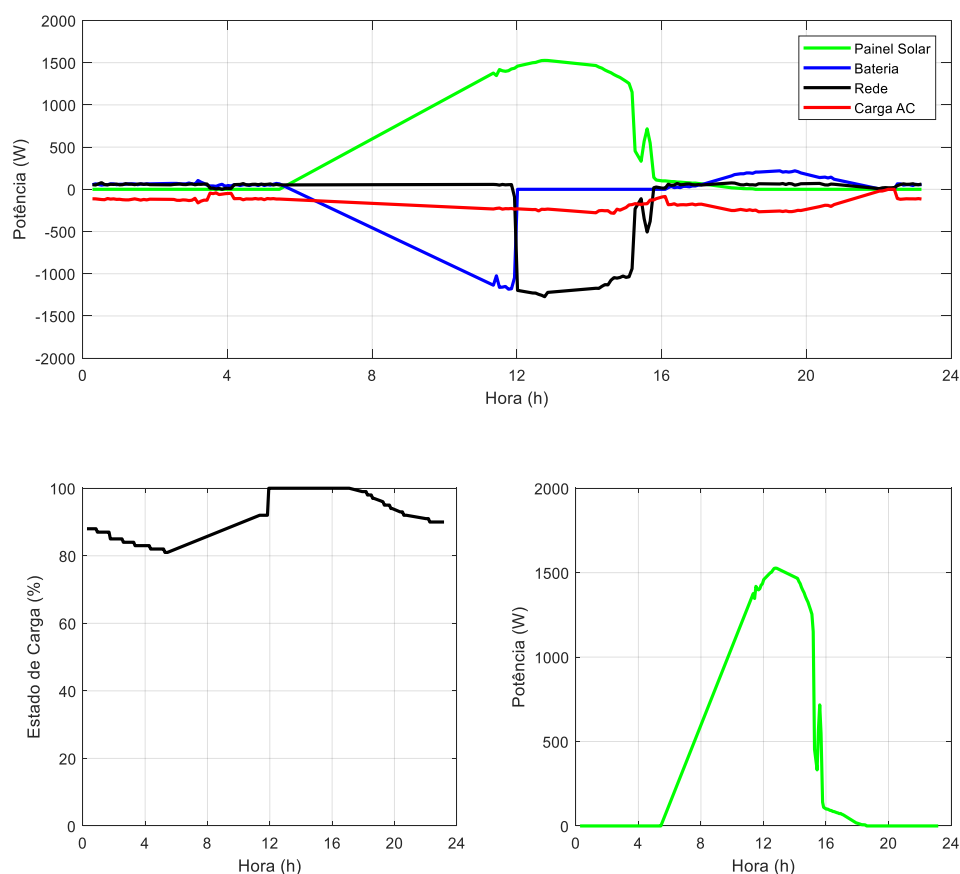


Figura 5.5 Graficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 4.

5.2.5. Ensaio 5

Num quinto ensaio, efetuado com o perfil de carregamento 2, a produção fotovoltaica começou às 8 horas e terminou às 16 horas, como podemos observar na Figura 5.6. É notório que a linha que ilustra a produção fotovoltaica apresenta uma forma bastante irregular devido a instabilidade da radiação solar. No entanto é possível verificar que entre as 11 e as 12 horas atingimos picos de produção que superam 1500W.

Entre as 0 e as 8 horas podemos verificar que a produção fotovoltaica foi nula, deste modo, a unidade de controlo priorizou a utilização da energia da unidade de

armazenamento, já que no início deste período o SOC da unidade de armazenamento era 90%.

No período entre as 8 e as 16 horas podemos constatar a demanda do perfil de carregamento foi colmatada pela produção fotovoltaica. Onde o excedente de energia foi utilizado para carregar a unidade de armazenamento.

Já a partir das 16 horas e até ao final do ensaio, a unidade de controlo preferiu utilizar a unidade de armazenamento, isto, embora o SOC não fosse de 100%, evitando dessa forma recorrer a energia da rede elétrica.

Durante o ensaio, o SOC do sistema de armazenamento atingiu valores inferiores a 60% e a unidade de armazenamento nunca atingiu o SOC máximo. Ainda assim, demonstrou ser capaz de garantir a sustentabilidade do posto de carregamento recorrendo apenas à energia proveniente de fontes renováveis.

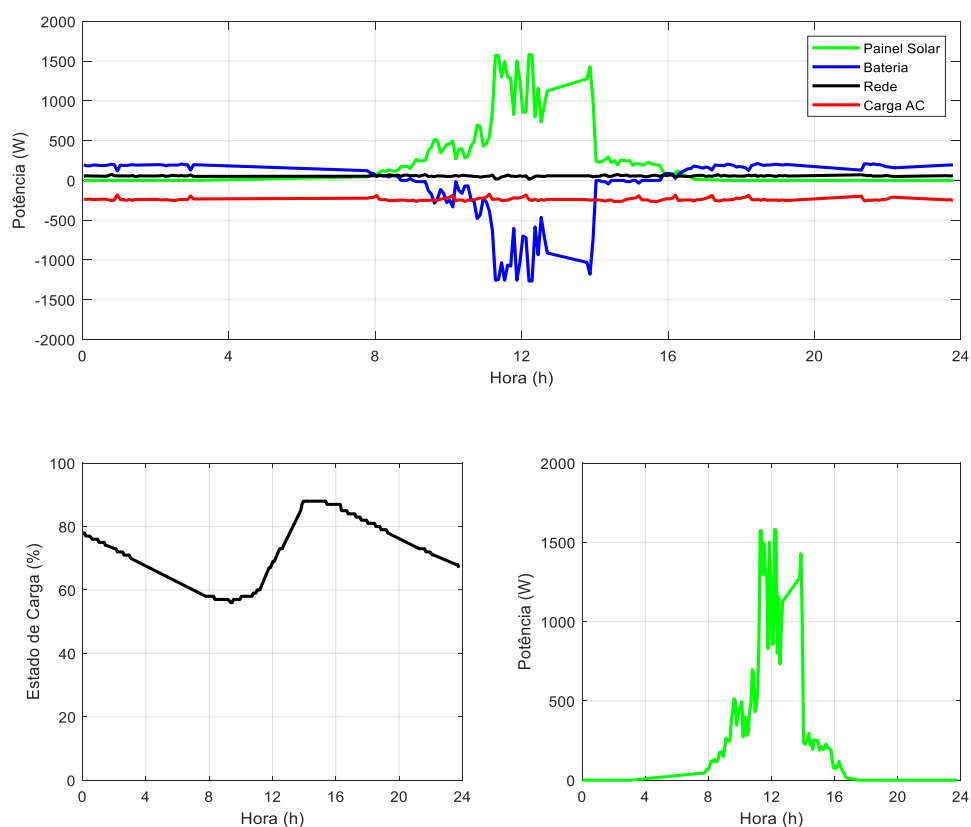


Figura 5.6 Graficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 5.

5.2.6. Ensaio 6

Para finalizar o nosso estudo realizou-se um sexto ensaio, que tal como o anterior foi realizado com o perfil de carregamento 2, neste dia, podemos considerar que a produção fotovoltaica foi nula.

Da análise da Figura 5.7 verificamos que no intervalo entre as 0 e as 15 horas, a unidade de controlo priorizou a utilização da energia da unidade de armazenamento, devido ao facto de o seu SOC ter um valor de 60%, que é capaz de satisfazer a demanda imposta pelo perfil de carregamento 2.

Já a partir das 15 horas e até ao final do ensaio, a unidade de controlo foi obrigada a recorrer à rede elétrica, uma vez que a produção fotovoltaica foi insignificante ao longo de todo este ensaio e a unidade de armazenamento atingiu o SOC mínimo estipulado, que é 30%.

Como podemos ver na análise da Figura 5.7 o SOC do sistema de armazenamento atingiu o valor mínimo estipulado de 30%, logo, a partir deste instante a unidade de controlo foi obrigada a recorrer à rede elétrica.

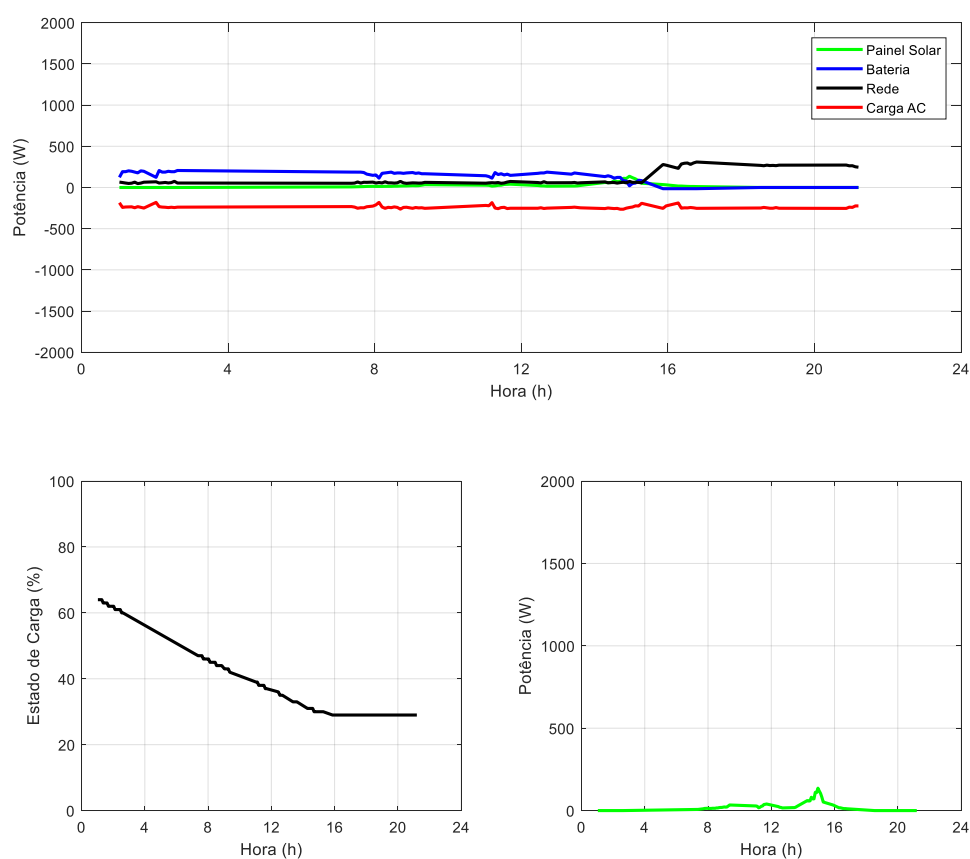


Figura 5.7 Graficos do fluxo de energia, SOC e produção PV do ensaio 6.

6. Conclusões

6.1. Conclusões gerais

Após a realização desta dissertação foi possível concluir que a bicicleta elétrica apresenta ser uma boa solução para resolver os problemas da mobilidade sustentável nas cidades uma vez que é um ótimo meio de transporte em pequenas e médias distâncias e também é um veículo ecológico e amigo do ambiente. Isto caso a sua energia seja proveniente de fontes de energia renováveis, como a energia solar por exemplo. Assim surgiu a necessidade de construir estações de carregamento para E bikes a energia solar.

Foi realizado um estudo sobre algumas estações de carregamento já implementadas e outras ainda em desenvolvimento de forma a seguir as melhores soluções e as que melhor se enquadram na estação de carregamento desenvolvida nesta dissertação.

A estação de carregamento a energia solar para E-bikes foi desenvolvida de forma a satisfazer diversos requisitos: Produção de energia solar descentralizada, possibilidade de injetar o excedente de produção na rede elétrica, carregar 4 E-bikes em simultâneo e integrar um sistema SCADA, que possibilite a identificação dos utilizadores para que seja autorizado o carregamento, permita visualizar as condições do sistema em tempo real e criar um histórico de dados.

Após o sistema estar finalizado foi efetuada uma simulação de forma a comprovar o correto funcionamento do mesmo, isto devido as E-bikes ainda não terem sido distribuídas por os candidatos e não ser possível analisar o funcionamento do sistema de outra forma.

Nesta simulação foi possível verificar que o carregador solar para E-bikes garante a sua sustentabilidade na maioria dos ensaios utilizando apenas a energia proveniente da produção fotovoltaica e da unidade de armazenamento, isto até mesmo em condições excecionais, que dificilmente se irão reproduzir, onde foi testado com um perfil de carga que simula uma ocupação de 100% nos 4 postos durante 24 horas.

O sistema mostrou sempre ter uma grande capacidade para atender à demanda dos postos de carregamento sem necessidade de recorrer à rede elétrica, evitando assim custos adicionais e a utilização de combustíveis fósseis.

6.2. Sugestões de trabalhos futuros

Sendo este projeto contruído por componentes que permitem uma constante evolução onde é possível fazer um trabalho continuo e de otimização para trabalhos de desenvolvimento futuro existem alguns aspetos que podem contribuir para o enriquecimento deste trabalho.

Um aspeto importante que pode ser desenvolvido no futuro é criar um ponto de acesso à página web. Já no que diz respeito ao sistema SCADA, seria de elevado interesse a integração deste sistema na rede da UBI ao invés de estar em uma rede local (LAN), também seria interessante possibilitar que os utilizadores pudessem utilizar o cartão de aluno da UBI para ativar o sistema de carregamento.

Referências Bibliográficas

- [1] A. Carreño-ortega, E. Galdeano-g, and J. C. P, “Policy and Environmental Implications of Photovoltaic Systems in Farming in Southeast Spain: Can Greenhouses Reduce the Greenhouse Effect?,” *Energies*, vol. 10.6, p. 761, 2017.
- [2] C. Europeia, “Climate Action.” [Online]. Available: http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/index_pt.htm. [Accessed: 12-Jan-2020].
- [3] G. R. C. Mouli, P. Bauer, and M. Zeman, “System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces,” *Appl. Energy*, vol. 168, no. 2016, pp. 434–443, 2020.
- [4] J. C. M. da Silva, “Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance,” Instituto Politecnico de Viseu, 2013.
- [5] G. Rose, “E-bikes and urban transportation: emerging issues and unresolved questions,” *Transportation (Amst.)*, vol. 39.1, pp. 81–96, 2012.
- [6] C. Baptista, C. M. Silva, T. L. Farias, and J. B. Heywood, “Energy and environmental impacts of alternative pathways for the Portuguese road transportation sector,” *Energy Policy*, vol. 51, pp. 802–815, 2012.
- [7] G. Apostolou, A. Reinders, and K. Geurs, “An Overview of Existing Experiences with Solar-Powered E-Bikes,” *Energies*, vol. 11.8, pp. 1–19, 2018.
- [8] Ferreira Marques Tiago, “Projeto de uma Estação de Carregamento Solar para Bicicletas Elétricas,” Universidade de Lisboa, 2019.
- [9] K. Silverstein, “Li-ion Segment Driving Global E-Bike Growth,” 2016. [Online]. Available: <https://www.environmentalleader.com/2016/08/li-ion-segment-driving-global-e-bike-growth/>. [Accessed: 07-May-2020].
- [10] J. X. Weinert, A. F. Burke, and X. Wei, “Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement,” *J. Power Sources*, vol. 172.2, pp. 938–945, 2007.
- [11] S. Paul, T. Schirmer, K. Kairies, H. Axelsen, and D. Uwe, “Comparison of off-grid power supply systems using lead-acid and lithium-ion batteries,” *Sol. Energy*, vol. 162, no. January, pp. 140–152, 2018.
- [12] T. McCue, “Global Electric Bike Market Is Still Moving Fast - Sondors E-Bike Offers Glimpse,” *Forbes*, 2018. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/04/12/the-global-electric-bike-market-is-still-moving-fast-sondors-e-bike-offers-glimpse/#47a3aad131ff>. [Accessed: 14-May-2020].
- [13] E. Fishman and C. Cherry, “E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research,” *Transp. Rev.*, vol. 36.1, pp. 72–91, 2016.
- [14] “Number of e-bikes sold in Europe from 2009 to 2018.” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/276036/unit-sales-e-bikes-europe/>. [Accessed: 05-Dec-2020].
- [15] “Number of electric bicycles sold in the European Union (EU) from 2013 to 2016, by country (in 1,000 units).” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/397772/electric-bicycle-sales-volume-in-the-european-union-eu-by-country/>. [Accessed: 05-Dec-2020].

- [16] G. Mouli, P. Van Grazian, A. Bauer, and O. Isabella, “Sustainable E-Bike Charging Station That Enables AC , DC and Wireless Charging from Solar Energy †,” *energies*, 2020.
- [17] Maria do Rosário, A. C., Mariano, S. J., Pombo, J. A., Pinto, R. J. “PV charging station for electric vehicles . Management and interface system,” in *6th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2016, pp. 1–5.
- [18] H. Mehrjerdi, “ScienceDirect Off-grid solar powered charging station for electric and hydrogen vehicles including fuel cell and hydrogen storage,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 23, pp. 11574–11583, 2019.
- [19] “Solar E-bike station.” [Online]. Available: <https://www.tudelft.nl/en/eemcs/the-faculty/departments/electrical-sustainable-energy/dc-systems-energy-conversion-storage/research/solar-e-bike-station/>. [Accessed: 04-Dec-2020].
- [20] “SUNPOD® CYCLO.” [Online]. Available: <http://www.advansolar.com/accueil-advansolar/sunpod-cyclo/>. [Accessed: 05-Dec-2019].
- [21] “E-move charging station.” [Online]. Available: <https://www.domusweb.it/en/design/2009/09/02/e-move-charging-station.html>. [Accessed: 07-Jan-2020].
- [22] “ZED Dock / Solar Tree.” [Online]. Available: <https://www.zedfactory.com/zed-roof>. [Accessed: 07-Jan-2020].
- [23] R. M. E. Valckenborg, R. Ghotge, and W. Folkerts, “Design of an Autonomous Solar Charging Station for E-Bikes,” in *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition DESIGN*, 2017, pp. 2105–2109.
- [24] “Solar mobility hub.” [Online]. Available: <https://www.jankuipers-nunspeet.com/news/solar-mobility-hub1/7?catid=147>. [Accessed: 08-Jan-2020].
- [25] J.-A. M. Peer, R. Journal, and U. G. Student, “Recent and Future Development of Plc in Industry,” *JournalNX*, vol. 5.11, no. 11, pp. 1–3, 2019.
- [26] A. Robles-durazno, N. Moradpoor, J. Mcwhinnie, G. Russell, and I. Manerumarin, “PLC memory attack detection and response in a,” *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, vol. 26, p. 100300, 2019.
- [27] Siemens, “RFID Systems - RF180C Communication Module Operating Instructions.” pp. 1–66, 2012.
- [28] T. D. P. Mendes, “Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações,” Universidade da Beira Interior, 2013.
- [29] K. S. Pedro, “Modelização do Arco Elétrico em Disjuntores para Análise de Transitórios Eletromagnéticos,” Técnico Lisboa, 2017.
- [30] C. Gang and C. Rensheng, “Developing Trend of Industrial Fieldbus Control System Evolvement of the Industrial Automation Advantages of the Industrial Ethernet,” in *8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 2007, pp. 765–768.
- [31] P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, and A. Taroni, “Experimental evaluation of PROFINET performance,” in *International Workshop on Factory Communication Systems*, 2004, pp. 331–334.
- [32] M. de M. Oliveira, “Comando à distancia de sistema doméstico,” Instituto Politecnico de Viseu, 2016.

- [33] Siemens, “S7-1200 Programmable controller,” 2012.
- [34] Siemens, “SCE Training Curriculum,” 2017.
- [35] R. Ramanathan, “The IEC 61131-3 Programming Languages Features for Industrial Control Systems,” in *2014 World Automation Congress (WAC)*, 2014, pp. 598–603.
- [36] N. Roos, “Programming PLCs using Structured Text 1 The Programmable Logic Controller,” in *International Multiconference on Computer Science and Information Technology*, 2008, pp. 20–22.
- [37] P. S. Palma, L. B., Rosas, J. A., Pecorelli, J., & Gil, “Simulation of Structured Text Language for PLC Programming,” in *3rd Experiment International Conference*, 2015, pp. 296–301.
- [38] S. Lishev, R. Popov, and A. Georgiev, “Laboratory SCADA Systems – the State of Art and the Challenges,” *Balk. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 164–170, 2015.
- [39] A. Setiawan, Sugeng, K. I. Koesoema, and S. B. and J. Aditya, “The SCADA system using PLC and HMI to improve the effectiveness and efficiency of production processes,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER*, 2019.
- [40] Siemens, “Creating and using user-defined web pages on S7-1200 / S7-1500.” [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/68011496/creating-and-using-user-defined-web-pages-on-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-PL>. [Accessed: 10-Oct-2020].