



Estudo e desenvolvimento de um sistema de carregamento e monitorização para bicicletas eléctricas

TIAGO FILIPE MARQUES MACEDO

Setembro de 2019

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO E MONITORIZAÇÃO PARA BICICLETAS ELÉTRICAS

Tiago Filipe Marques Macedo



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019

Este documento satisfaz parcialmente os requisitos contidos na unidade curricular de DISEE,
do 2^o ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica
Sistemas Eléctricos de Energia

E-mail:

1080548@isep.ipp.pt

Orientador ISEP: Dr.^a Maria Judite Ferreira, mju@isep.ipp.pt

Empresa: CEiiA

Orientadores CEiiA: Eng. Carlos Alberto Arantes
Eng. Carlos Simão Pinheiro, carlos.pinheiro@ceiia.com



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

25 de Setembro de 2019

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação resume o esforço e dedicação ao longo do meu percurso académico. Deste modo, gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos a todos que me acompanharam durante este percurso.

Sem uma ordem predefinida para dirigir os meus agradecimentos, gostaria de começar por agradecer à Professora Doutora Maria Judite Ferreira, orientadora pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), por todo o apoio e disponibilidade durante a realização desta dissertação.

Ao CEiiA pela oportunidade de realizar a dissertação nas suas instalações bem como pelo fornecimento das ferramentas e meios necessários à realização da mesma. Agradeço também o facto de me permitir conciliar a parte laboral e académica, sem sobrecarregar, para que pudesse concluir este percurso. Um especial agradecimento a toda a orientação cedida por todos aqueles que colaboraram afincadamente no decorrer deste trabalho. Em termos profissionais e conhecimentos transmitidos, uma palavra de enorme apreço a todos os colegas da equipa de Eletrónica e Sistemas Embebidos pelo contributo com suas opiniões e conhecimento. Aos restantes colegas das áreas transversais à instituição um obrigado pela compreensão e auxílio.

Não poderia deixar de manifestar o meu enorme apreço e gratidão à minha família, especialmente mãe, pai e irmã pelo constante apoio e motivação demonstrados desde o primeiro ao último instante desta tão desejada caminhada. Deixo aqui um enorme agradecimento à minha esposa, Ana Catarina Rocha, pela compreensão nas horas de ausência, paciência e capacidade motivacional demonstradas.

Agradeço por fim a todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para que pudesse realizar todo o meu percurso académico bem como aqueles que me acompanham na vida.

A todos, um muito obrigado pelo apoio incondicional.

”A gratidão é o único tesouro dos humildes” - *William Shakespeare*

Resumo

O tema desta dissertação insere-se no âmbito da temática da mobilidade elétrica, nomeadamente em sistemas de uso partilhado de bicicletas (tipicamente denominado “*Bike Sharing*”). Devido à forte ocupação do centro das grandes cidades existe a necessidade de adotar meios de deslocação alternativos. Esta dissertação apresenta-se como uma contribuição para melhoria de um desses meios. Esta dissertação foi desenvolvida em parceria com o CEiiA e tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de carregamento e monitorização de baterias para bicicletas elétricas. O cumprimento deste objetivo envolve o estudo e a especificação da arquitetura de *hardware* a implementar e testes do protótipo desenvolvido. Envolve também o desenvolvimento de *firmware* para realizar a sensorização e controlo dos módulos integrantes do *hardware* bem como a gestão do carregamento das baterias. De forma a facilitar a monitorização e a interação com o sistema, desenvolveu-se também uma aplicação com interface gráfica.

Para validação do carregamento das baterias foram implementadas diferentes estratégias de controlo. Numa primeira fase adotou-se uma estratégia de carregamento simples, baseada no ajuste do sinal de controlo em direta correlação com a medida do sinal a controlar. Posteriormente desenvolveu-se um algoritmo de carregamento assente num controlador proporcional integral. O desenvolvimento e teste de diferentes técnicas de controlo permitiram comparar diretamente a efetividade de ambas, bem como comprovar o correto funcionamento da solução desenvolvida.

Palavras-chave

Mobilidade urbana, Sistemas de uso partilhado de bicicletas, Carregamento de baterias, Conversores eletrónicos de potência.

Página propositadamente deixada em branco.

Abstract

The subject of this dissertation falls within the scope of electric mobility, namely in systems of shared bicycle use (typically called "*Bike Sharing*"). Due to the heavy occupation of the center of large cities there is a need to adopt alternative ways of travel. This dissertation is presented as a contribution to the improvement of one of these ways. This dissertation was developed in partnership with CEiiA and its main objective is the development of a battery charging and monitoring system for electric bicycles. Achieving this goal involves the study and specification of the hardware architecture to implement and testing of the developed prototype. It also encompasses the development of firmware to perform sensing and control of hardware components as well as battery charging management. In order to facilitate monitoring and interaction with the system, an application with graphical interface was also developed.

Different control strategies were implemented for battery charging validation. In a first phase a simple charging strategy was selected. This strategy was based on adjusting the control signal in direct correlation with the measurement of the output signal. Subsequently a charging algorithm based on a proportional integrative controller was developed. The development and testing of different control techniques made it possible to directly compare the effectiveness of both, as well as to prove the correct functioning of the developed solution.

Keywords

Urban mobility, Bike-sharing systems, Battery charging, Electronic power converters.

Página propositadamente deixada em branco.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	CEiiA	3
1.3	Motivação	4
1.4	Objetivos	5
1.5	Proposta de Trabalho	6
1.6	Organização do Documento	7
2	Sistemas de Partilha de Bicicletas	9
2.1	Definição de <i>Bike Sharing</i>	9
2.2	Objetivos dos Sistemas de <i>Bike Sharing</i>	11
2.3	Operação em <i>Bike Sharing</i>	11
2.3.1	Carregamento em <i>Bike Sharing</i>	12
2.4	Operadores de <i>Bike Sharing</i>	15
2.4.1	<i>Bike Sharing</i> Paris	16
2.4.2	<i>Bike Sharing</i> Barcelona	17
2.4.3	<i>Bike Sharing</i> Lisboa	18
2.4.4	<i>Bike Sharing</i> CEiiA	19
2.4.4.1	Totem CEiiA	20
2.4.4.2	Doca CEiiA	21
2.4.4.3	Bicicletas CEiiA	21
2.4.4.4	Carregamento CEiiA	23

3	Sistemas Eletrônicos de Carregamento	25
3.1	Baterias	26
3.1.1	Bateria de Ácido de Chumbo	26
3.1.2	Bateria de Níquel	28
3.1.2.1	Níquel Cádmio	28
3.1.2.2	Hidretos Metálicos de Níquel	30
3.1.3	Bateria de Lítio	31
3.2	Conversores de Potência	34
3.2.1	Topologia <i>Step-down (Buck)</i>	35
3.2.2	Topologia <i>Step-up (Boost)</i>	37
3.2.3	Topologia <i>Buck-Boost</i>	39
3.2.4	Topologia <i>Flyback</i>	41
3.2.5	Topologia <i>Buck</i> Totalmente Controlado	42
4	Protótipo do sistema de carregamento	45
4.1	Arquitetura Proposta	46
4.2	Hardware	49
4.2.1	Interface com docas	50
4.2.1.1	Fontes de alimentação	53
4.2.1.2	Microcontrolador	54
4.2.1.3	Comunicações	56
4.2.1.4	Sensores	60
4.2.1.5	Atuadores	62
4.2.2	Carregamento de bicicletas elétricas	64
4.2.2.1	Topologia	65
4.2.2.2	<i>Driver</i>	66
4.2.2.3	Sensorização de Tensão e Corrente	67
4.3	<i>Firmware</i>	69
4.4	<i>Software</i>	75

<i>CONTEÚDO</i>	ix
5 Testes e Resultados	79
5.1 Teste 1 - Ajuste direto da variável de controlo	79
5.2 Teste 2 - Melhorias ao ajuste direto da variável de controlo .	81
5.3 Teste 3 - Controlador proporcional	83
5.4 Teste 4 - Controlador proporcional integral	86
5.5 Teste 5 - Validação funcional do sistema	88
6 Conclusões e Trabalho Futuro	91
Anexo A.	114
Anexo B.	115
Anexo C.	117
Anexo D.	119

Página propositadamente deixada em branco.

Lista de Figuras

1.1	Mobilidade Urbana [4]	2
1.2	CEiiA - Edifício	3
1.3	Sugestão de alteração ao sistema atual	6
2.1	Exemplo de estação de <i>bike sharing</i> [9]	10
2.2	Exemplo de um sistema de <i>bike sharing</i> sem doca (<i>dockless</i>) [10]	10
2.3	Má utilização de um sistema de <i>bike sharing</i> [11]	12
2.4	Exemplo de carregador de bicicleta elétrica [27]	13
2.5	Docas de carregamento em estações[21]	14
2.6	MobiCascais - Mapa de serviços [12]	15
2.7	MobiCascais - conjugação de meios de transportes [13]	15
2.8	<i>Velib' Métropole - Bike sharing</i> Paris [16]	16
2.9	<i>Bicing - Bike sharing</i> Barcelona [19]	17
2.10	<i>Gira - Bike sharing</i> Lisboa [22]	18
2.11	Sistema <i>Bike sharing</i> CEiiA	19
2.12	Totem CEiiA	20
2.13	Doca Universal CEiiA	21
2.14	Bicicleta Elétrica CEiiA	22
2.15	Carregadores utilizados no interior do totem	23
3.1	Carregamento de baterias de ácido de chumbo [29]	27
3.2	Carregamento de baterias de níquel cádmio [31]	30
3.3	Carregamento de baterias de lítio [34]	33

3.4	Conversor <i>Step-Down (Buck)</i> [36]	35
3.5	Modos de operação do conversor <i>Step-Down (Buck)</i> [36]	36
3.6	Conversor <i>Step-Up (Boost)</i> [36]	37
3.7	Modos de operação do conversor <i>Step-Up (Boost)</i> [36]	38
3.8	Conversor <i>Buck-Boost</i> [36]	39
3.9	Modos de operação do conversor <i>Buck-Boost</i> [36]	40
3.10	Conversor <i>Flyback</i> [36]	41
3.11	Conversor <i>buck</i> síncrono totalmente controlado (adaptado de [36])	42
4.1	Arquitetura geral do sistema desenvolvido	46
4.2	Docas de carregamento CEiiA	47
4.3	Proposta de alteração à arquitetura das estações CEiiA	48
4.4	Renderização da <i>Printed Circuit Board (PCB)</i> de Interface	49
4.5	Renderização da PCB de Carregamento	49
4.6	Diagrama geral da PCB de interface	51
4.7	Faces superior e inferior da PCB de interface produzida	52
4.8	Esquema de alimentação na placa desenvolvida	53
4.9	Diagrama de blocos alto nível do microcontrolador [45]	55
4.10	Exemplos de estrutura redes com <i>Digi XBee</i>	56
4.11	<i>Level shifter Texas Instruments ISO7221ADR</i>	58
4.12	Conectores <i>Rosenberger Power Data (RoPD)</i>	59
4.13	<i>Transceiver Infineon TLE6250</i>	59
4.14	Acelerômetro <i>NXP Semiconductors MMA8452Q</i>	60
4.15	<i>Radio Frequency Identification (RFID) PN532</i>	61
4.16	Esquema de leitura de <i>switches</i> por meio de ADC	62
4.17	<i>Light Emitting Diode (LED) driver NXP PCA9685</i>	63
4.18	Diagrama geral da PCB de carregamento	64
4.19	Faces superior e inferior da PCB de carregamento produzida	64
4.20	Topologia do conversor implementado [41]	65

4.21	<i>Driver</i> ST L6384E	66
4.22	Circuito de medição de tensão e corrente.	68
4.23	Algoritmo geral no microcontrolador	70
4.24	Algoritmos complementares executados no ciclo principal	71
4.25	Algoritmo simplificado do carregamento de baterias	74
4.26	Janela demonstrativa da aplicação desenvolvida	75
4.27	Algoritmo da interface gráfica	77
5.1	Forma de onda da corrente durante o carregamento	80
5.2	Forma de onda da tensão durante o carregamento	80
5.3	Forma de onda da corrente calculada e corrente instantânea	82
5.4	Forma de onda da tensão calculada e tensão instantânea	82
5.5	Tensão e corrente ao longo do carregamento de uma bateria	83
5.6	Forma de onda da corrente para diferentes valores de ganho do controlador proporcional	85
5.7	Forma de onda da tensão para diferentes valores de ganho do controlador proporcional	85
5.8	Forma de onda da corrente para diferentes valores de ganho integral do controlador	87
5.9	Forma de onda da tensão para diferentes valores de ganho integral do controlador	87
5.10	Tensão e corrente ao longo do carregamento de uma bateria com controlador proporcional integrativo	88
5.11	<i>Setup</i> de testes em bancada	89
5.12	<i>Layout</i> de <i>debug</i> da interface gráfica	90
5.13	<i>Debug</i> do lado da PCB de interface	90
1	PCB de interface - Face superior	115
2	PCB de interface - Face inferior	115
3	PCB de carregamento - Face superior	119

4 PCB de carregamento - Face inferior 119

Lista de Tabelas

3.1	Vantagens e desvantagens das baterias de ácido de chumbo . . .	27
3.2	Vantagens e desvantagens das baterias de níquel cádmio . . .	29
3.3	Vantagens e desvantagens das baterias de hidretos metálicos de níquel	31
3.4	Vantagens e desvantagens das baterias de lítio	32

Página propositadamente deixada em branco.

Lista de Acrónimos

AC *Alternating Current*

ADC *Analog to Digital Converter*

API *Application Programming Interface*

ARM *Advanced RISC Machine*

BLE *Bluetooth Low Energy*

CAN *Controller Area Network*

CC *Constant Current*

CV *Constant Voltage*

DC *Direct Current*

EMEL *Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa*

GSM *Global System for Mobile Communication*

I2C *Inter-Integrated Circuit*

IC *Integrated Circuits*

IDE *Integrated Development Environment*

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IGBT *Insulated Gate Bipolar Transistor*

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto

LDO *Low-Dropout Regulator*

LED *Light Emitting Diode*

LVR *Linear Voltage Regulator*

MDC *Mobility Device Controller*

MMT *Micro Mount Technology*

MOSFET *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*

NDV *Negative Delta Voltage*

NFC *Near-Field Communication*

PCB *Printed Circuit Board*

PWM *Pulse With Modulation*

RFID *Radio Frequency Identification*

RGB *Red Green Blue*

RoPD *Rosenberger Power Data*

SDK *Software Development Kit*

SoC *State of Charge*

SMPS *Switching Mode Power Supply*

SMT *Surface Mount Technology*

THT *Through Hole Technology*

UART *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

uMDC *Micro Mobility Device Controller*

UPS *Uninterruptible Power Supplies*

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo serão apresentados o enquadramento do trabalho, a definição de sistemas partilhados de bicicletas, a motivação e os objetivos, fundamentos teóricos, bem como a proposta de desenvolvimento para o restante trabalho. Por fim é feita também uma descrição da organização do documento.

1.1 Enquadramento

Mobilidade urbana é traduzida na facilidade de deslocação das pessoas e bens pelas cidades, com o objetivo de desenvolver atividades económicas e sociais nas mesmas. Estas deslocações são realizadas através de veículos motorizados e não motorizados, além de toda a infraestrutura envolvente, possibilitando o ir e vir quotidiano. A qualidade da mobilidade está relacionada com a articulação e união entre diferentes políticas, como transportes, trânsito, circulação, acessibilidade, desenvolvimento urbano e uso do solo, entre outras [1] [2].

Grande parte dos cidadãos europeus vive atualmente em cidades urbanas e

estima-se que estes números tenderão a subir ao longo do tempo. Segundo estimativas da União Europeia, em 2050 a percentagem de cidadãos a ocupar o epicentro das grandes cidades poderá ultrapassar os 80% face aos 73% de 2010 [3]. O problema é que estes aumentos não são só acompanhados de evoluções positivas, como o crescimento económico e o emprego. Neste momento, muitas cidades europeias enfrentam graves problemas relacionados ou provocados pelos meios de transportes e pelo trânsito gerado. Os níveis de mobilidade são cada vez mais elevados e o aumento da utilização do carro privado vem dificultar a mobilidade dentro das cidades. Trânsito intenso, poluição atmosférica, fraca infraestrutura de transportes públicos e segurança são apenas alguns dos problemas das grandes cidades.



Figura 1.1: Mobilidade Urbana [4]

É aqui que o conceito de Mobilidade Elétrica pode ter uma importância acrescida. A aposta em meios de transportes movidos a energia elétrica pode ser uma boa solução para uma infraestrutura de transportes sustentável a longo prazo. Apesar da aposta em meios de transporte elétricos ser crucial devido à redução da utilização de combustíveis fósseis e das emissões de dióxido de

carbono, o conceito vai muito para além de ter um carro elétrico ou de andar de transportes elétricos.

Hoje em dia há inúmeros incentivos à transição para meios de mobilidade alternativos, reduzindo assim os impactos negativos da utilização do automóvel [2]. O uso de sistemas de mobilidade partilhada são um exemplo para a concretização da redução desses impactos. Para deslocações mais ecológicas, conscientes, simples e económicas, existem diversas entidades que fornecem sistemas de mobilidade partilhada, com ênfase nos automóveis, scooters, bicicletas e trotinetes. Estas soluções fazem cada vez mais sentido em cidades e sociedades modernas combatendo os problemas anteriormente descritos.

1.2 CEiiA



Figura 1.2: CEiiA - Edifício

O CEiiA é um Centro de Engenharia e Desenvolvimento de Produto com sede em Matosinhos (figura 1.2). É uma organização sem fins lucrativos que concebe, desenvolve e opera produtos e serviços nas indústrias de Mobili-

dade, nomeadamente Automóvel e Mobilidade Urbana, Aeronáutica, Mar e Espaço estando presente em vários países da Europa e da América do Sul. É atualmente uma referência internacional na área da mobilidade sustentável e reconhecido no mundo aeronáutico pelas suas competências em engenharia de estruturas. Tem evoluído em torno da identificação de oportunidades e da indução de grandes programas estruturantes para Portugal, envolvendo a indústria, as universidades e o universo das *startups*[5].

Com o objetivo de contribuir para um novo modelo económico e industrial em Portugal, o CEiiA desenvolve novos conceitos de mobilidade que envolvem novos dispositivos, novos serviços de mobilidade e novos modelos de negócio mais sustentáveis para as cidades. Um dos marcos principais do CEiiA foi a criação do sistema Mobi.me que é um sistema de gestão inteligente de mobilidade urbana (capaz de quantificar as emissões de CO₂ geradas e poupadas [6]. O sistema também suporta a gestão de serviços de partilha de automóveis, scooters e bicicletas fazendo uso do *Micro Mobility Device Controller* (uMDC), produto proprietário e desenvolvido com esta finalidade.

O protótipo desenvolvido nesta dissertação pretende dar uma contribuição ao CEiiA no sentido de fundamentar uma possível evolução dos sistemas de bicicletas partilhadas existentes. Este sistema poderá ser integrado com plataformas já desenvolvidas bem como ser um parâmetro diferenciador para novos modelos de negócio.

1.3 Motivação

O CEiiA inova na área da mobilidade urbana e, como tal, pretende desenvolver soluções ditadas pela necessidade do mercado. Os sistemas de partilha de bicicletas são um dos muitos desafios aos projetos de mobilidade, sendo necessário o desenvolvimento e melhoria constante de estações de carregamento de bicicletas elétricas com uma adequada relação qualidade e preço.

A integração de bicicletas públicas com a comunidade cria uma atitude positiva dando um avanço importante para uma mobilidade sustentável e segura. Atualmente, os sistemas de partilha de bicicletas são um conceito bastante bem acolhido pelas sociedades, permitindo o uso de um meio de transporte saudável e sustentável.

A título pessoal, a estruturação e definição de sistemas que englobam o tema da mobilidade, bem como o desenvolvimento de um produto com vista à comercialização e a oportunidade de trabalhar e adquirir experiência junto de equipas multidisciplinares no CEiiA, contribuiu para a escolha do tema.

1.4 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste no estudo, desenvolvimento e validação de um protótipo de uma arquitetura elétrica e eletrónica modular e adaptável, que possibilite a gestão energética otimizada do carregamento de bicicletas elétricas. Esta arquitetura deverá ter em conta a melhor relação entre modularidade, manutenção e custo. O protótipo deste sistema deverá ser integrado numa doca de carregamento já existente e implica a concretização dos seguintes objetivos parciais:

- Gestão energética otimizada do carregamento;
- Melhoria da arquitetura atual;
- Arquitetura elétrica e eletrónica modular e adaptável;
- Adaptação transversal a todas as docas de carregamento desenvolvidas pelo CEiiA.

Com esta solução pretende-se criar um protótipo funcional de um sistema de carregamento eficaz e completo, que possa vir a ser implementado em várias

estações de sistemas de partilha de bicicletas.

Um dos objetivos complementares é a aplicação, consolidação e aprofundamento do conhecimento adquirido ao longo do percurso académico.

1.5 Proposta de Trabalho

Propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de um sistema para monitorização e carregamento de bicicletas elétricas. É necessário o desenvolvimento de hardware para a integração de todos os componentes das docas, implementação de métodos de controlo de carregamento, comunicação sem fios entre os dispositivos integrantes do sistema e interface gráfica para controlo e depuração. Uma proposta de melhoria, tendo em conta as funcionalidades de carregamento, será a compatibilidade com diferentes gamas de tensão de baterias incorporadas em bicicletas elétricas e permitir um maior número de bicicletas a carregar em simultâneo. No que toca a funcionalidades de controlo, as melhorias a ter em conta serão a comunicação sem fios e o controlo totalmente personalizável. Na figura 1.3 está representado um esquema geral às modificações a serem implementadas ao sistema atual.

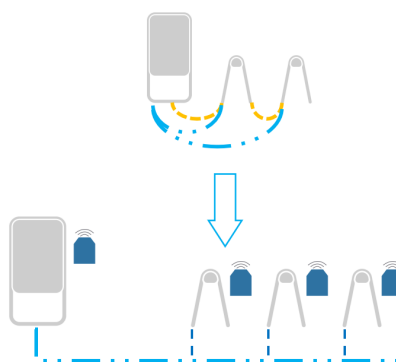


Figura 1.3: Sugestão de alteração ao sistema atual

O *hardware* implementado contempla, como referido, a integração de todos os componentes das docas, a gestão local do carregamento, reportar em tempo real os estados de carregamento bem como responder às necessidades de gestão do sistema de partilha de bicicletas.

1.6 Organização do Documento

A composição do presente documento está dividida em 6 capítulos. No capítulo 1 é feita uma contextualização e enquadramento da dissertação, a entidade onde foi desenvolvido o trabalho e apresentam-se os objetivos, a motivação e a proposta a desenvolver.

No capítulo 2 é apresentado os sistemas de *Bike Sharing* e os seus constituintes.

No capítulo 3 é feita uma revisão ao estudo efetuado bem como uma apreciação crítica dos sistemas de carregamento existentes.

No capítulo 4 são desenvolvidas as opções tomadas descrevendo todos os constituintes do trabalho.

No capítulo 5 são apresentados resultados obtidos tendo em conta testes práticos da solução desenvolvida.

Por fim, no capítulo 6, são reunidas as principais conclusões e perspetivam-se possíveis ou futuros desenvolvimentos.

Página propositadamente deixada em branco.

Capítulo 2

Sistemas de Partilha de Bicicletas

Neste capítulo são apresentados exemplos de sistemas de partilha de bicicletas existentes. Os sistemas de partilha de bicicletas permitem aos seus utilizadores colmatar as necessidades de deslocação pelas cidades de forma mais eficiente. Estas deslocações podem ser feitas em bicicletas do tipo convencional sendo esta uma prática mais ecológica e saudável promovendo o exercício físico. Estas deslocações podem também ser feitas por meio de bicicletas eletricamente assistidas, permitindo uma deslocação mais agradável e possibilitando superar as adversidades de cidades com geografias irregulares.

2.1 Definição de *Bike Sharing*

Um sistema de partilha de bicicletas (*bike sharing systems*), como o nome indica, é um serviço em que são disponibilizadas bicicletas para uso partilhado entre a comunidade por um curto tempo, em troca de uma taxa monetária ou gratuitamente. Muitos dos sistemas de partilha permitem que os seus

utilizadores levarem uma bicicleta numa doca e a devolvam noutra doca pertencente ao mesmo sistema. As docas são dispositivos para estacionamento que permitem que as bicicletas sejam guardadas em segurança. O desbloqueio das mesmas pode ser feito através de uma aplicação dedicada para o efeito ou outro meio que garanta autenticação das pessoas perante o sistema.



Figura 2.1: Exemplo de estação de *bike sharing* [9]

Existem também sistemas de bicicletas *dockless*, sem uso de doca de estacionamento, onde é usado um sistema de bloqueio na própria bicicleta. Aliado a este método, existem alguns problemas de má utilização, nomeadamente pelo facto de os utilizadores deixarem as bicicletas em qualquer local criando assim alguma desordem e obstrução das vias [7][8].



Figura 2.2: Exemplo de um sistema de *bike sharing* sem doca (*dockless*) [10]

2.2 Objetivos dos Sistemas de *Bike Sharing*

As razões e objetivos para a inclusão e utilização de sistemas de *bike sharing* variam mas têm como principal propósito servir as urbanizações de meios de transporte públicos alternativos, atendendo tanto a habitantes locais como a turistas. O seu conceito central é fornecer acesso gratuito ou monetariamente acessível a bicicletas para viagens de curta distância numa área urbana, como uma alternativa ao transporte público motorizado ou a veículos particulares, reduzindo assim o congestionamento e o stress do quotidiano, o ruído e a poluição atmosférica. Para alguns utilizadores de bicicletas como meio de transporte, os sistemas de docas assemelham-se ao transporte público e, portanto, têm sido criticados como menos convenientes do que uma bicicleta proprietária. Em contrapartida, alguns utilizadores que, de outra forma, usariam a própria bicicleta têm preocupações com roubo ou vandalismo, estacionamento em locais públicos e até mesmo a sua manutenção. Este facto favorece a procura pela utilização dos sistemas partilhados e consequentemente a procura pela disponibilização destes serviços por vários operadores.

2.3 Operação em *Bike Sharing*

Para os operadores de *bike sharing* a infraestrutura disponibilizada é considerada um bem económico. Embora alguns sistemas sejam gratuitos aos utilizadores, sendo estes promovidos por diversas autarquias, a maioria exige alguma taxa monetária pela utilização do serviço ou até mesmo uma assinatura mensal para o efeito.

Os sistemas de partilha de bicicletas também fornecem um número limitado de bicicletas, cuja distribuição pode variar em toda a cidade. O uso de uma bicicleta por uma pessoa diminui a capacidade de outros usarem o mesmo bem. No entanto, o objetivo de muitas cidades é conseguir que haja um

sistema fortemente consolidado capaz de colmatar a procura fazendo com que o uso por parte de um cidadão não interfira no uso de outro. É também de salientar que o bom funcionamento do serviço só é possível se houver respeito pelo mesmo quer por parte dos utilizadores quer pelo público geral. A imagem 2.3 ilustra claramente uma má utilização e desrespeito por um sistema partilhado de bicicletas.



Figura 2.3: Má utilização de um sistema de *bike sharing* [11]

2.3.1 Carregamento em *Bike Sharing*

As características dos sistemas de bicicletas elétricas podem variar e um dos pontos de diferenciação é a sua forma de alimentação através de baterias. O regime de tensão mais comum para estes sistemas é em torno dos 36 V DC nominal para que o motor forneça uma assistência eficiente. A capacidade da bateria pode variar consoante a autonomia que se pretenda para a bicicleta. Estas baterias podem ser de Chumbo ou de Lítio sendo estas mais utilizadas por oferecerem um desempenho consideravelmente superior e serem mais leves. Embora as baterias de Chumbo sejam mais baratas, são as mais pesadas e com menor desempenho [26].

No caso da bateria ser amovível esta pode ser carregada a partir de uma to-

mada de parede por intermédio de um carregador apropriado para o efeito, semelhante ao carregador de um computador portátil como ilustrado na figura 2.4.



Figura 2.4: Exemplo de carregador de bicicleta elétrica [27]

Para esta operação é necessário que uma equipa técnica faça a recolha e substituição da bateria. No caso de modelos de bicicletas com bateria embutida existe um conector que permite essa ligação ao carregador. O facto de carregar a bateria na própria bicicleta traz custos acrescidos com a recolha da mesma o que conseqüentemente não rentabiliza o investimento pela indisponibilidade da bicicleta.

Os operadores para este tipo de sistemas optam por ter nas docas de estacionamento o próprio carregamento da bateria. Este carregamento é feito através de um conector na bicicleta para o efeito e é seguida uma estratégia conveniente de carregamento fazendo uso de carregadores apropriados ou a utilização de sistemas eletrónicos de carregamento desenvolvidos para estes tipos de bateria. Na figura 2.5 está representado um sistema de docas com carregamento através de conexão pela parte frontal da bicicleta.



Figura 2.5: Docas de carregamento em estações[21]

2.4.1 *Bike Sharing Paris*

O sistema mais popular a operar na cidade de Paris é o *Velib' Métropole* ilustrado na figura 2.8 que conta com várias bicicletas convencionais e bicicletas eletricamente assistidas para uso em toda a cidade [14]. A operar desde 2007, hoje em dia conta com aproximadamente 15.000 bicicletas e pouco mais de 1.200 estações de estacionamento. Atualmente conta com mais de 200.000 subscritores devido à inserção de bicicletas elétricas e aplicações para *smartphone*, o que torna mais atrativo a sua utilização por moradores e visitantes.

Nos primeiros 30 minutos, a utilização é gratuita para bicicletas convencionais ou será cobrado uma pequena taxa pela utilização de bicicletas elétricas. Existem também assinaturas para um ou para sete dias e pode-se fazer uso até cinco pessoas em simultâneo com a mesma assinatura o que torna o sistema vantajoso para partilha em grupo ou família. Em cada estação existe um pedestal para efetuar transações ou pode ser utilizada a aplicação para *smartphone* facilitando a localização das estações nas proximidades [15].



Figura 2.8: *Velib' Métropole - Bike sharing Paris* [16]

2.4.2 *Bike Sharing* Barcelona

Um dos sistemas de *bike sharing* mais popular na cidade de Barcelona é o *Bicing* ilustrado na figura 2.9. É um sistema que disponibiliza ao público em geral cerca de 6000 bicicletas convencionais e 300 bicicletas elétricas para viagens regulares pela cidade, de forma mais sustentável, saudável e económica. O *Bicing* é totalmente integrado com o sistema de transportes da cidade e é de fácil utilização e combinação com outros meios de transporte públicos. Com base nos critérios intermodais, os pontos de recolha de bicicletas foram colocados próximos de estações de transportes públicos e áreas onde se fazia sentir a necessidade de uso de transporte alternativo [17].

O sistema opera com base num cartão de assinatura pessoal e intransmissível com o nome do utilizador. Este cartão identifica o utilizador no sistema e deve ser usado nos pontos de recolha e entrega para retirar e devolver as bicicletas. Os utilizadores devem ter mais de 16 anos para poderem utilizar o sistema [18].



Figura 2.9: *Bicing* - *Bike sharing* Barcelona [19]

2.4.3 *Bike Sharing* Lisboa

O primeiro sistema implementado em Lisboa foi o sistema *Gira* ilustrado na figura 2.10 promovido pela Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa (EMEL). O sistema conta com cerca de 1400 bicicletas e 140 estações espalhadas pela cidade de Lisboa ao longo dos 60 quilómetros de ciclovias [20] [21]. Cerca de um terço destas bicicletas são convencionais e os restantes dois terços são bicicletas eletricamente assistidas.

A utilização deste serviço é feito através de uma aplicação para *smartphone* e as bicicletas devem ser levantadas e entregues em estações próprias para o efeito. Os custos são imputados conforme a utilização pretendida. Funciona com base em assinaturas que variam entre passes diários para utilização espontânea, assinaturas mensais para utilizações regulares e assinaturas anuais para residentes [20].



Figura 2.10: *Gira - Bike sharing* Lisboa [22]

2.4.4 *Bike Sharing* CEiiA

O CEiiA desenvolveu estrategicamente um sistema de *bike sharing* próprio que engloba bicicletas convencionais e elétricas, docas universais de estacionamento e carregamento. O sistema *bike sharing* CEiiA foi desenvolvido inicialmente para integrar o sistema Mobi.Cascais referenciado na secção 2.4 e ilustrado nas figuras 2.6 e 2.7. Até à data conta com cerca de 80 estações espalhadas pelo concelho e cerca de 400 bicicletas a operar num formato de assinaturas para uma semana, um mês ou por ano [12].

O CEiiA utiliza o sistema nas suas instalações (representado na figura 2.11) para usufruto dos seus colaboradores.



Figura 2.11: Sistema *Bike sharing* CEiiA

Está planeado arrancar um sistema piloto de *bike sharing* no município de Matosinhos promovido pela Câmara Municipal e o *Living Lab Matosinhos* em parceria com o CEiiA. Conterá com três estações - uma na zona da Câmara Municipal, outra nas instalações do CEiiA e a terceira junto ao Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões. Estarão ao dispor dos utilizadores deste piloto oito docas de estacionamento e carregamento por estação, prefazendo um total de 24 docas, três totens e 20 bicicletas elétricas [23].

2.4.4.1 Totem CEiiA



Figura 2.12: Totem CEiiA

O totem, ilustrado na figura 2.12 é uma estrutura física ligada à rede elétrica de baixa tensão e responsável por albergar toda a eletrônica de proteção e controlo do sistema. Contempla os dispositivos de ligação e corte da rede elétrica e os dispositivos de corte e proteção da alimentação das docas. Possui também a fonte de alimentação principal de tensão contínua para alimentar as docas. Como elemento de controlo e conexão ao sistema, é utilizado um *Mobility Device Controller* (MDC) (dispositivo desenvolvido pelo CEiiA para o efeito) que por sua vez, está ligado a todas as docas por cablagem apropriada segundo protocolo de comunicação RS485. No exterior da estrutura são colocadas instruções de utilização do sistema e publicidade de terceiros.

2.4.4.2 Doca CEiiA



Figura 2.13: Doca Universal CEiiA

A doca desenvolvida pelo CEiiA e que integra a solução de *bike sharing* implementada é ilustrada na figura 2.13 e permite o estacionamento de duas bicicletas em simultâneo.

A doca contempla a eletrónica de controlo responsável pela interação com o utilizador. Possui iluminação de estado da doca (livre, ocupada e manutenção) e iluminação de sinalização. Possui também um conjunto de sensorização responsável por monitorizar o estado das funcionalidades da doca, como leitor de cartões RFID (*Radio Frequency Identification*) que permite autenticação através de cartão *contactless*.

Na sua estrutura estão contemplados cabos de aço para trancamento de bicicletas bem como cabos de carregamento para duas bicicletas.

2.4.4.3 Bicicletas CEiiA

As bicicletas elétricas como ilustrado na imagem 2.14 possuem um conjunto de componentes elétricos e eletrónicos que compõem o sistema de locomoção e assistência da mesma, nomeadamente: o motor, controlador do motor e baterias. São semelhantes a bicicletas convencionais mas possuem um motor

elétrico que quando se pedala, ajuda a mover-se sem esforço. Este motor é alimentado por uma bateria que deve ser recarregada regularmente.

As bicicletas elétricas desenvolvidas pelo CEiiA possuem um uMDC no seu interior capaz de controlar as funcionalidades da bicicleta, principalmente a imposição do nível de assistência e controlo de iluminação de estrada. Este dispositivo também é responsável pela ligação ao sistema Mobi.me por meio de GSM comunicando continuamente a localização da bicicleta entre outros dados.

O mercado de bicicletas elétricas é regulado por uma diretiva europeia que foi traduzido para o padrão EN15194. Os seus pontos principais são:

- O motor deve funcionar apenas quando se pedala;
- O motor deve desligar-se automaticamente quando a velocidade atinge 25 quilómetros por hora ou quando são acionados os travões;
- A potência máxima do motor é de 250W.

As bicicletas elétricas que atendem à norma EN15194 são consideradas como bicicletas comuns não sendo obrigatório seguro nem licença de condução e podem usar as ciclovias. No entanto o uso de capacete é obrigatório [24] [25].



Figura 2.14: Bicicleta Elétrica CEiiA

2.4.4.4 Carregamento CEiiA

Além do referido anteriormente no subcapítulo 2.4.4.1, o totem também possui no seu interior carregadores de baterias elétricas onde é feita a ligação individual a cada uma das docas. As características destes carregadores, visualizado na figura 2.15, vão de encontro à necessidade das baterias das bicicletas elétricas desenvolvidas pelo CEiiA.

Este é um carregador AC/DC (*Alternating Current/Direct Current*) ligado ao barramento de baixa tensão elétrica no interior do totem e segue o método de carregamento CC/CV (*Constant Current/Constant Voltage*).



Figura 2.15: Carregadores utilizados no interior do totem

Página propositadamente deixada em branco.

Capítulo 3

Sistemas Eletrônicos de Carregamento

Alguns operadores em sistemas de partilha de transporte mais acessível, como o exemplo de bicicletas e scooters, optam por efetuar o carregamento das baterias destes veículos em locais próprios e reservados para o efeito. Como este tipo de política implica a disponibilização de equipas técnicas especializadas e requer reservas de baterias para efetuar a troca, alguns sistemas de partilha possuem, como referido anteriormente, forma de carregar a bateria destes veículos através da doca de estacionamento.

Os próximos subcapítulos entram em detalhe nos tipos de baterias que poderão ser utilizados em bicicletas elétricas evidenciando as suas vantagens e desvantagens, bem como dos algoritmos de carregamento. São também apresentados os possíveis sistemas eletrônicos de carregamento dando ênfase aos conversores de potência que os constituem.

3.1 Baterias

A bateria é o dispositivo responsável por fornecer energia elétrica ao sistema proveniente da energia desenvolvida através de uma reação química.

Existem diversos tipos de baterias no mercado mas os mais utilizados para estes sistemas são as de Chumbo, Níquel e Lítio [26].

3.1.1 Bateria de Ácido de Chumbo

As baterias de Chumbo ou Ácido de Chumbo foram das primeiras baterias recarregáveis para uso comercial. Foram inventadas em 1859 e têm como componentes básicos o chumbo (Pb) ou óxido de chumbo (PbO) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) [28]. Hoje em dia ainda continuam a ser utilizadas devido a serem confiáveis e economicamente viáveis. Ao ter uma boa relação no seu custo por densidade energética, são utilizadas para diversas aplicações nomeadamente em automóveis, carros de golfe, empilhadores e UPS (*Uninterruptible Power Supplies*).

Estas baterias são mais pesadas e menos duráveis do que baterias de níquel ou lítio em termos de ciclos carga e descarga profundos. Uma descarga completa é prejudicial para este tipo de bateria pois leva a uma diminuição permanente da sua capacidade. Dependendo da aplicação e da profundidade da descarga estas baterias proporcionam entre 200 e 300 ciclos de descarga / carga. A principal razão para o ciclo de vida curto é o desgaste do material interno aquando do processo químico na produção de energia. Este processo de desgaste é acelerado quando opera a temperaturas altas e quando se exige correntes de descarga altas. Outra limitação do uso de baterias de ácido de chumbo é a orientação física na qual se submete a bateria na operação e manuseamento. Em meados de 1970 foram introduzidas as baterias de ácido de chumbo seladas para colmatar esta limitação [28].

Na tabela 3.1 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens de uma bateria de ácido de chumbo.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Custo relativamente baixo; • Baixo efeito de auto-descarga; • Potência alta, capaz de fornecer correntes altas de descarga; • Resistente a variações de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesada e restrições de manuseamento; • Carregamento lento; • Ciclo de vida limitado; • Ambientalmente não amigável.

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens das baterias de ácido de chumbo

O carregamento de uma bateria de ácido de chumbo é feito através do método *Constant Current (CC)/Constant Voltage (CV)*. A injeção de corrente constante vai aumentando a tensão aos terminais da bateria até que o limite superior de tensão seja atingido, ponto em que a corrente que flui para a bateria começa a decair até chegar a um mínimo estável.

O tempo de carregamento deste tipo de baterias é elevado e superior ao tempo de carregamento de outros tipos, devendo-se ao aumento de temperatura quando carregadas a correntes altas, o qual é prejudicial ao desempenho das mesmas.

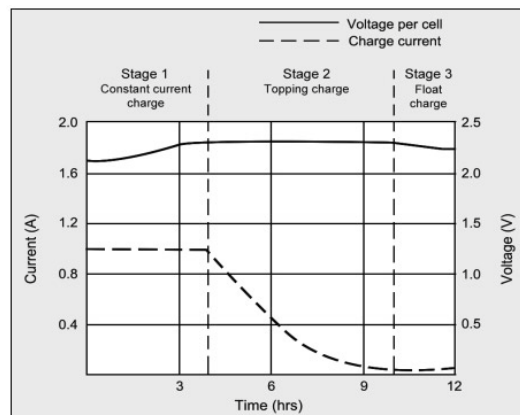


Figura 3.1: Carregamento de baterias de ácido de chumbo [29]

As baterias de ácido de chumbo devem ser carregadas em três estágios: carregamento em corrente constante, carregamento em tensão constante e controlo de flutuação de carga conforme ilustrado na figura 3.1. O carregamento em corrente constante aplica à bateria a maior carga durante aproximadamente metade do tempo. O carregamento em tensão constante continua com uma corrente mais baixa até que seja atingida a saturação e o controlo de flutuação de carga compensa a perda causada pela descarga automática. Embora o modo de controlo flutuação de carga seja aplicado, este não é normalmente referido no método de carregamento.

A mudança do estágio 1 para o 2 ocorre sem problemas e acontece quando a bateria atinge o limite de tensão definido. A corrente começa a cair quando a bateria começa a saturar. A carga total é atingida quando a corrente diminui para cerca de 3 a 5% do total da sua capacidade [29].

3.1.2 Bateria de Níquel

Existem dois tipos principais de baterias de níquel: baterias de níquel cádmio (NiCd) e hidretos metálicos de níquel (NiMH). Ao longo de 50 anos os dispositivos portáteis contavam com baterias de níquel cádmio, mas na década de 1990 as baterias de hidretos metálicos de níquel assumiram a utilização nesses dispositivos para combater o problema de toxicidade das antecessoras. Devido a regulamentação ambiental, a NiCd está limitada a aplicações especiais hoje em dia [30].

3.1.2.1 Níquel Cádmio

Este tipo de bateria foi inventado em 1899 oferecendo algumas vantagens em relação às baterias de ácido de chumbo. No entanto, os materiais usados para a sua conceção eram caros. Os desenvolvimentos de melhorias para

estas baterias foram lentos até 1947, quando se introduziu a melhoria de absorção de gases gerados durante a carga. Estas melhorias resultaram na bateria de níquel cádmio selada. Durante muitos anos, a NiCd foi a escolha de bateria para rádios, equipamentos médicos de emergência, câmeras de vídeo profissionais e ferramentas elétricas [30]. A bateria NiCd continua a ser uma das baterias mais robustas e tolerantes.

NiCd, e em parte também NiMH, têm efeito de memória, o que causa uma perda de capacidade se não for dado um ciclo de descarga completo periodicamente. Como referido, este efeito faz com que a bateria adquira uma capacidade de carga cada vez menor. As suas vantagens e desvantagens são apresentadas na tabela 3.2.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Número de ciclos de carga alto; • Possibilita carregamento de forma rápida; • Prazo de validade longo, podendo ser armazenada descarregada; • Preços económicos; • Armazenamento e transporte simples; • Bom desempenho a baixa temperatura; • Disponível em uma ampla gama de tamanhos e opções de desempenho. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade específica relativamente baixa em comparação com sistemas mais recentes; • Efeito de memória; • O cádmio é um metal tóxico; • Alta auto-descarga, precisa de recarga após o armazenamento; • Tensão de célula baixa, requer muitas células para alcançar tensão elevada.

Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens das baterias de níquel cádmio

O carregamento das baterias de níquel é mais complexo do que o carregamento de baterias de ácido de chumbo ou lítio que seguem um algoritmo corrente constante e tensão constante (CC/CV). Baterias à base de níquel também carregam com corrente constante, mas a tensão pode subir livremente.

Os fabricantes de baterias recomendam que as baterias novas sejam carre-

gadas lentamente por 16 a 24 horas antes do uso. Estas baterias atingem a capacidade de carga e descarga completa ao fim de 5 a 7 ciclos sendo que esta performance mantém-se entre 100 e 300 ciclos, após o qual o desempenho começa a cair gradualmente.

A deteção de carga completa para este tipo de bateria pode ser feito através de medição da temperatura ou através da medição de um limite de tensão aos terminais da mesma. Estes processos podem variar pelo carregador que se use para o carregamento. No controlo de temperatura, é efetuada a medição quando a temperatura sobe acima de um determinado limite e o carregamento é parado imediatamente. No caso de controlo por tensão, o carregamento pára quando existe uma queda de tensão acentuada aos terminais da bateria [31]. Este método é chamado de *Negative Delta Voltage* (NDV). A figura 3.2 mostra a relação entre a tensão, pressão e temperatura de uma bateria de NiCd. Após 70% da carga da baterias, as células começam a gerar gases, a pressão sobe e a temperatura aumenta rapidamente.

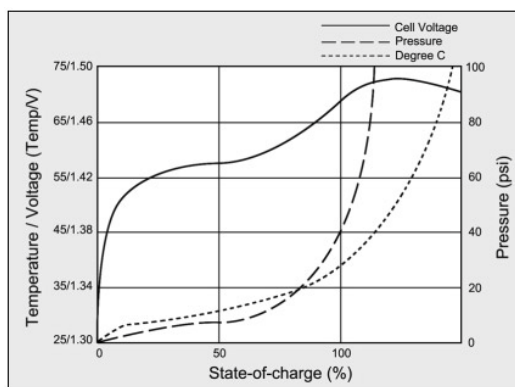


Figura 3.2: Carregamento de baterias de níquel cádmio [31]

3.1.2.2 Hidretos Metálicos de Níquel

Os desenvolvimentos de baterias de hidretos metálicos de níquel começaram em 1967 e hoje em dia fornecem cerca de 40% mais capacidade de energia

do que baterias de níquel cádmio. Em contrapartida é uma bateria mais delicada e mais difícil de carregar do que as anteriores [30].

A NiMH tornou-se uma das baterias recarregáveis mais disponíveis para os consumidores, sendo fornecidas por grandes fabricantes em formato AA e AAA (formato típico de baterias usado em aparelhos eletrônicos). Esta bateria para o mercado consumidor é uma alternativa para a bateria alcalina reutilizável que apareceu nos anos 90 com ciclo de vida limitado e características de carga insuficientes.

As suas vantagens e desvantagens são apresentadas na tabela 3.3.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • 30 a 40% maior capacidade do que NiCd; • Menor efeito memória; • Armazenamento e transporte simples; • Ambientalmente amigável; • Possível reciclagem de materiais; • Ampla faixa de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil limitada, descarga profunda reduz a vida útil; • Requer algoritmo de carga complexo; • Sensível a sobrecargas; • Gera calor durante o carregamento rápido; • Auto-descarga elevada.

Tabela 3.3: Vantagens e desvantagens das baterias de hidretos metálicos de níquel

O algoritmo NDV para deteção de carga total é limitado na obtenção das medições, o que requer filtragem eletrónica para compensar as flutuações do nível de tensão induzidos pela bateria e pelo carregador. Um processo de carregamento bem concebido deve tomar em consideração o algoritmo NDV, controlo na variação e limite de temperatura e controlo no tempo de execução do algoritmo de carga [32].

3.1.3 Bateria de Lítio

A bateria de lítio ou iões de lítio (Li-ion) popularizou-se com o aparecimento de micro circuitos eletrónicos utilizados em relógios, consolas, telemóveis en-

tre outros equipamentos mais atuais. Estas baterias surgiram em 1912, mas só no início dos anos 80 é que começaram a ser produzidas para uso comercial. O lítio é o mais leve de todos os metais, possui o maior potencial eletroquímico e fornece a maior energia específica por peso. O Li-ion é uma bateria de baixa manutenção, não sofre do efeito de memória e a sua auto descarga é menor que outros tipos de baterias. A tensão nominal de cada célula é relativamente superior aos outros tipos permitindo alimentar diretamente dispositivos eletrônicos [33].

A tabela 3.4 apresenta as vantagens e desvantagens das baterias de lítio.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidade de carga; • Vida útil prolongada; • Alta capacidade, baixa resistência interna e boa eficiência; • Algoritmo de carga simples; • Tempos de carga razoavelmente curtos; • Baixo efeito auto-descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de produção mais elevados; • Requer circuitos de proteção; • Degrada a alta temperatura e quando armazenado carregada; • Não é possível a carga rápida a temperaturas negativas; • Necessidades específicas quando transportadas em grande quantidade.

Tabela 3.4: Vantagens e desvantagens das baterias de lítio

O carregamento das baterias de lítio é semelhante ao carregamento das baterias de ácido de chumbo. As diferenças com o Li-ion residem numa tensão mais alta por célula, tolerâncias de tensão mais rígidas e ausência de carga lenta ou flutuante com carga total. Embora o ácido de chumbo ofereça alguma flexibilidade em termos de corte de tensão, os fabricantes de células de lítio são muito rigorosos no que toca ao carregamento correto devido ao facto da bateria não aceitar sobrecarga. Os circuitos de proteção são tomados em consideração e não permitem que se exceda a tensão máxima definida.

Na figura 3.3 é representado o carregamento de uma bateria de lítio pelo método CC/CV.

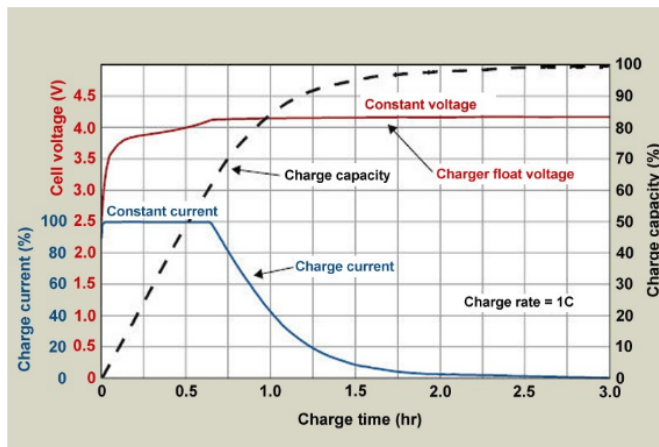


Figura 3.3: Carregamento de baterias de lítio [34]

No estágio inicial é imposta uma corrente constante de carregamento até que seja atingida a tensão máxima estipulada aos terminais da bateria. Após este limite a corrente de carga começa a decrescer até que seja atingido um limite mínimo de corrente, momento em que o carregamento total foi atingido. O tempo total de carga para este tipo de bateria é relativamente rápido devido à taxa de carga da mesma ser elevado (pode ser considerado entre 0,8 e 1C - taxa de carga em relação à capacidade total da bateria, sem comprometer a longevidade da mesma). Neste tipo de bateria não existem grandes variações de temperatura aquando do carregamento da mesma.

O *State of Charge* (SoC) pode ser estimado lendo a tensão aos terminais da bateria em circuito aberto [34].

3.2 Conversores de Potência

Em alguns equipamentos eletrônicos é exigido o ajuste dos valores de tensão e corrente de acordo com certas necessidades específicas. Para isso são utilizados dispositivos de conversão de energia, que podem converter um nível de tensão em outros. Quando o dispositivo de conversão energética realiza a transformação de um nível de tensão elétrica alternada em contínua, denomina-se *Alternating Current (AC)/Direct Current (DC)*. A maioria dos dispositivos eletrônicos de ligação à rede elétrica necessitam de uma conversão de energia nestes moldes.

Para conversão de energia elétrica de níveis de tensão contínuo em outro contínuo, utilizam-se conversores DC/DC. Os conversores DC/DC têm uma ampla gama de utilização estando presentes nas fontes de alimentação de diversos dispositivos eletrônicos, pois possibilitam gerar múltiplos níveis de tensão controlados a partir de uma única fonte de energia. Trata-se de uma classe de conversores de potência que utilizam comutação de sinal e devido a esta característica também são conhecidos como fontes comutadas. São compostos por, no mínimo, um transístor, um diodo e elementos de armazenamento de energia, bobine e condensador. A conversão é realizada através do armazenamento temporário da energia de entrada e da libertação na saída com uma tensão diferente. Este método de conversão é mais eficiente em relação a reguladores lineares de tensão, alcançando valores superiores a 80% de eficiência [35]. A utilização destes conversores também proporciona uma redução do tamanho dos dispositivos em relação aos lineares. Por outro lado, a desvantagem da utilização de conversores comutados assenta no maior custo, complexidade e emissão de ruídos.

A conversão pode ser realizada para diminuir a tensão de saída em relação à tensão de entrada ou o contrário, seguindo topologias *step-down* ou *step-up*, respetivamente [36]. Existem diversas topologias de conversores DC/DC

sendo em seguida apresentadas as mais utilizadas: *Step-down (Buck)*, *Step-up (Boost)*, *Buck-Boost* e *Flyback*.

3.2.1 Topologia *Step-down (Buck)*

A figura 3.4 apresenta a topologia de um conversor DC/DC *Step-Down* ou *Buck*, caracterizado por baixar a tensão de saída em relação à de entrada. O transistor T ao ser comutado, modula a tensão de entrada e pela ação de filtragem suficientemente eficaz do condensador de saída, considera-se V_o praticamente constante. Sendo assim, a ondulação da corrente que passa pela carga R_o é desprezável, mantendo apenas o nível DC. No período em que o transistor conduz, o diodo D fica em aberto, originando uma transferência de energia da fonte para bobine L , aumentando i_L , e para o condensador, quando $i_L > V_o / R_o$. Quando T passa para o estado de corte, o diodo conduz. A carga e o condensador recebem a energia armazenada em L . O condensador será carregado enquanto o valor instantâneo da corrente pela bobine for maior do que a corrente da carga. Quando a corrente for menor, o condensador descarrega a fim de manter constante a corrente na carga e consequentemente constante a tensão V_o . A tensão E deve ser suportada tanto pelo transistor quanto pelo diodo [36].

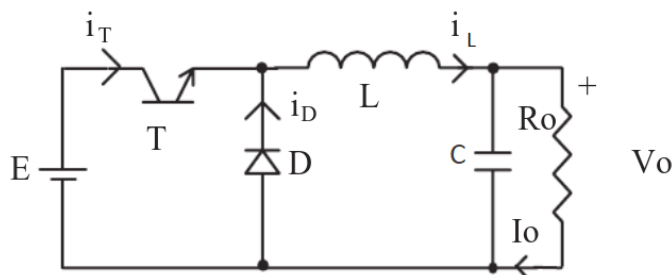


Figura 3.4: Conversor *Step-Down (Buck)* [36]

Se a corrente da bobine não se anula durante a condução do díodo, diz-se que o circuito opera no modo contínuo, caso contrário opera em modo descontínuo. Preferencialmente pretende-se operar em modo contínuo por haver uma relação bem determinada entre a largura de pulso e a tensão média de saída. A figura 3.5 mostra as formas de onda típicas de ambos os modos de operação em função do sinal de controlo (D), salientando a corrente na bobine (i_L), no díodo (i_D) e no transistor (i_T) bem como a forma de onda na tensão aos terminais do díodo (V_D) e o valor médio da tensão na carga (V_o).

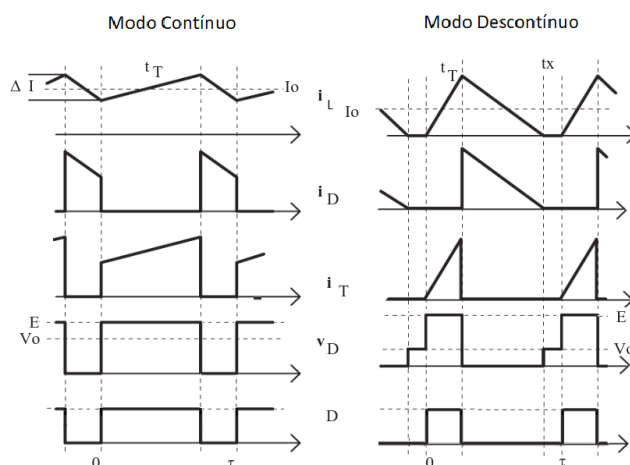


Figura 3.5: Modos de operação do conversor *Step-Down (Buck)* [36]

Na operação em modo contínuo, tal como mencionado anteriormente, quando o transistor está fechado é fornecida corrente para a carga e o condensador aumentando gradualmente a corrente na bobine. Quando o transistor abre, o díodo entra em condução e a energia armazenada na bobine é transferida para o condensador e para a carga. O transistor volta a conduzir antes que a corrente na bobine se extinga. A operação em modo descontínuo ocorre quando deixa de existir corrente na bobine, o que faz com que a carga deixe de ser alimentada. Em condução contínua a tensão de saída varia conforme

o ciclo de trabalho do circuito enquanto que para a condução descontínua a tensão depende do tempo de excitação de corrente na bobine. Quanto maior for o tempo que o transistor fique aberto, maior deverá ser a bobine para que haja uma condução contínua. Para que sejam utilizadas bobines de menor dimensão deverá existir um aumento na frequência de comutação [37].

A equação 3.1 representa a relação entre a tensão de entrada V_i e a tensão de saída V_o em função do *duty cycle* D [39].

$$\frac{V_o}{V_i} = D \quad (3.1)$$

3.2.2 Topologia *Step-up (Boost)*

O conversor *Step-Up* ou *Boost* funciona como elevador de tensão, pois a sua tensão de saída é superior à de entrada. A figura 3.6 apresenta o esquema da topologia deste tipo de conversor. Ao ser comutado o transistor T , é aplicada a tensão de entrada à bobine L e o diodo D fica reversamente polarizado. A energia acumulada na bobine é enviada ao condensador e à carga quando o transistor é desligado. A tensão E deve ser suportada tanto pelo transistor quanto pelo diodo [36].

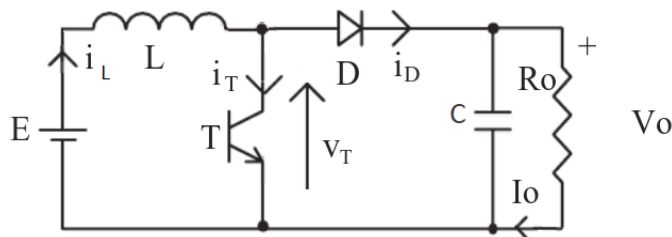


Figura 3.6: Conversor *Step-Up (Boost)* [36]

Trata-se de um conversor não isolado, pois não utiliza transformador e a tensão de saída possui a mesma polaridade que a tensão de entrada. A

figura 3.7 apresenta as formas de onda do conversor *Boost* em condução contínua e descontínua salientando a corrente na bobine (i_i), no díodo (i_D) e no transistor (i_T) e a forma de onda da tensão aos terminais do transistor (V_T) tendo como referências a tensão de entrada (E) e tensão de saída (V_o). Para esta topologia a bobine L é responsável por elevar a tensão na saída V_o devido a uma tensão induzida pela variação de corrente e o condensador C_o assegura que a oscilação da tensão na carga seja mínima.

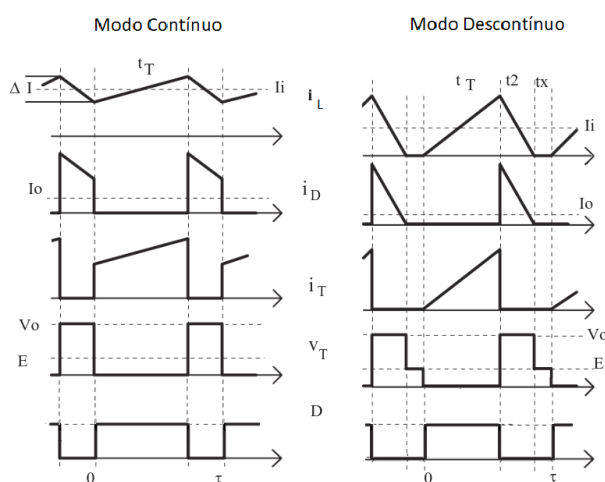


Figura 3.7: Modos de operação do conversor *Step-Up (Boost)* [36]

No modo contínuo quando o transistor T é fechado, a corrente na bobine L aumenta não circulando corrente no díodo D . Quando o transistor é aberto o díodo passa a conduzir. Devido à queda de corrente na bobine é induzida uma tensão aos seus terminais que somado com a tensão de entrada provoca um aumento na tensão de saída. Para operação no modo descontínuo deixa de existir corrente na bobine até que o transistor volte a fechar novamente. Neste caso a tensão de saída depende do tempo de excitação da bobine. À semelhança da topologia anterior, com bobines maiores e frequências mais altas é possível a operação em modo contínuo [37].

A equação 3.2 representa a relação entre a tensão de entrada V_i e a tensão

de saída V_o em função do *duty cycle* D [39].

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad (3.2)$$

3.2.3 Topologia *Buck-Boost*

O conversor *Buck-Boost* é conhecido como abaixador-elevador de tensão pois a tensão de saída pode ser superior ou inferior à tensão de entrada. À semelhança dos outros conversores o ajuste da tensão de saída é baseado no *duty cycle* do sinal aplicado ao transistor de comutação. O circuito é similar ao *Buck* e ao *Boost* [36]. A figura 3.8 apresenta a configuração desta topologia.

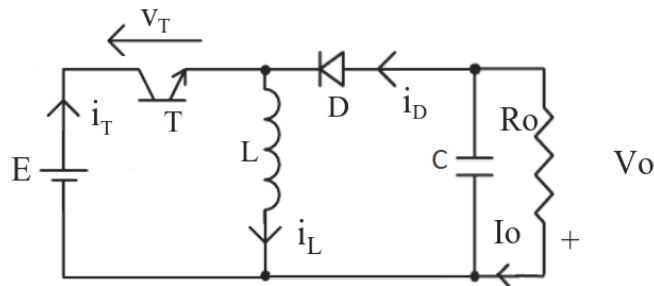


Figura 3.8: Conversor *Buck-Boost* [36]

Neste conversor a tensão de saída apresenta polaridade oposta à tensão de entrada. Com isso, surge uma desvantagem, pois a tensão que o transistor deve suportar é a soma da entrada com a saída. A figura 3.9 apresenta as formas de onda do conversor *Buck-Boost* em condução contínua e descontínua salientando a corrente na bobine (i_L), no diodo (i_D) e no transistor (i_T) e a forma de onda na tensão aos terminais do transistor (V_T) [36].

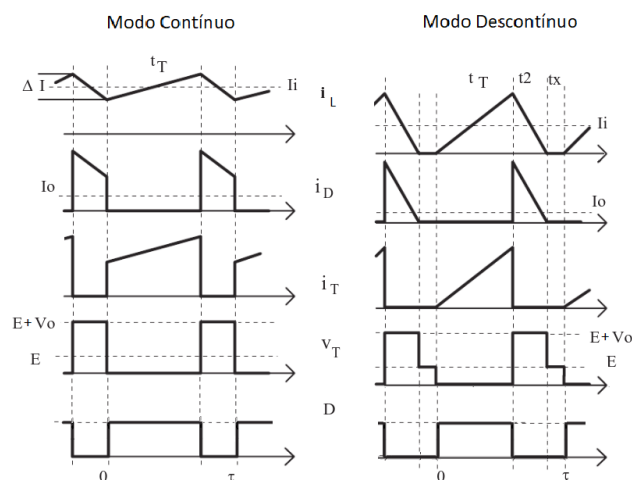


Figura 3.9: Modos de operação do conversor *Buck-Boost* [36]

Para operação em modo contínuo, quando o transistor T é ligado, é transferida energia da fonte E para a bobine L aumentando a corrente gradualmente. O diodo D não permite a passagem de corrente para a carga devido à sua polarização. Quando o transistor desliga, a continuidade da corrente da bobine é assegurada pela condução do diodo transferindo a energia acumulada na bobine para o condensador e a carga. O modo de operação descontínua ocorre quando deixa de existir corrente na bobine antes do transistor fechar novamente sendo que a corrente para a carga passa a ser fornecida pelo condensador. Para ambos os casos a tensão de saída é controlada pelo *duty cycle* imposto no transistor, isto é o tempo de excitação de corrente na bobine. À semelhança do conversor *buck* e *boost* com bobines maiores e frequências mais altas é possível a operação em modo contínuo [38].

A equação 3.3 representa a relação entre a tensão de entrada V_i e a tensão de saída V_o em função *duty cycle* D [39].

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D}{1 - D} \quad (3.3)$$

3.2.4 Topologia *Flyback*

O conversor *Flyback* tem como finalidade baixar ou elevar a tensão à semelhança do que acontece na topologia *Buck-Boost*. Esta topologia utiliza um transformador que proporciona o isolamento entre a fonte e a carga. Outra vantagem da utilização desta topologia é poder alvergar múltiplas saídas com diferentes níveis de tensão controladas apenas por um único transistor do lado do enrolamento primário do transformador [39]. A figura 3.10 mostra o circuito do conversor *Flyback*.

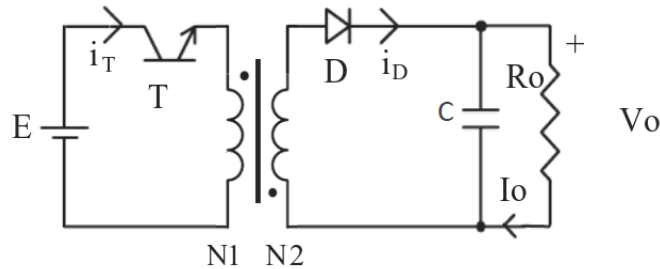


Figura 3.10: Conversor *Flyback* [36]

O princípio de funcionamento deste conversor é muito semelhante ao funcionamento do conversor *Buck-Boost*. Quando o transistor T está em condução, a energia é armazenada no campo magnético da bobine do primário $N1$. A corrente e o fluxo magnético no transformador vão aumentando gradualmente. A tensão induzida no enrolamento secundário $N2$ é negativa, portanto o diodo D fica reversamente polarizado. Neste momento o condensador em paralelo com a carga garante o fornecimento de energia à mesma. Quando o transistor é aberto a corrente no enrolamento primário e o fluxo magnético caem. A tensão no enrolamento secundário é positiva, polarizando o diodo diretamente e permitindo que a corrente flua do transformador para a carga. A energia do núcleo do transformador recarrega o condensador e fornece também energia para a carga. A operação de armazenamento de

energia no transformador antes de ser transferida para a saída do conversor permite que a topologia controle facilmente várias saídas [36] [40].

3.2.5 Topologia *Buck* Totalmente Controlado

Existem duas topologias principais usadas para implementar conversores do tipo *Buck* destinados à aplicação do carregamento de baterias: topologia *buck* assíncrona ou síncrona. Um exemplo da topologia assíncrona para o conversor *buck* é referido no subcapítulo 3.2.1. Esta topologia permite uma implementação que simplifica a arquitetura do controlador e as funções de gestão de energia. A desvantagem das topologias assíncronas é a dissipação de energia. Com um *design* de PCB otimizado e uma seleção de componentes adequada, geralmente são usados para fornecer uma baixa taxa de corrente à carga. A dissipação de energia para topologias assíncronas ocorre no dispositivo de comutação, no diodo e no *driver* de controlo. As perdas de energia no diodo limitam efetivamente a corrente máxima de carga a valores significativamente inferiores aos das topologias síncronas.

A figura 3.11 mostra o circuito do conversor *buck* síncrono ou totalmente controlado.

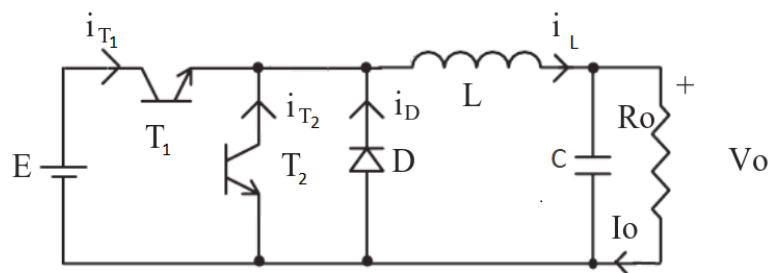


Figura 3.11: Conversor *buck* síncrono totalmente controlado (adaptado de [36])

A topologia síncrona é uma opção para condições de aplicação em que as topologias assíncronas não atendem aos requisitos de dissipação de energia

e eficiência. Esta topologia geralmente é mais cara porque são necessários componentes adicionais e o controlador é mais complexo. Para todos os controladores referidos podem ser utilizados semicondutores de potência nomeadamente *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) em substituição do transistor como representado na figura 3.11.

Existem duas topologias básicas tipicamente usadas para conversores *buck* síncronos usando ambas um comutador MOSFET do tipo N do lado inferior (representado por T_2) para minimizar as perdas no diódo e o lado superior (representado por T_1) MOSFET do tipo N ou tipo P. A operação síncrona entre o comutador do lado alto e o comutador do lado baixo afeta a complexidade do controlador sendo necessária a implementação de um *dead time* para que ambos não sejam comutados ao mesmo tempo. Geralmente utiliza-se um diódo (D) para garantir um caminho para o fluxo de corrente durante este tempo. O principal impacto da implementação de uma topologia síncrona é que devem ser implementadas funcionalidades adicionais no controlador. Embora a topologia síncrona com recurso a MOSFET do tipo P no lado alto e N do lado baixo represente uma melhoria em relação à topologia *buck* assíncrona, ainda existem algumas limitações. Uma desvantagem é que os MOSFET do tipo P são mais caros do que os do tipo N para características similares. Como alternativa pode ser usada uma topologia com MOSFET do tipo N em ambos os lados. Esta abordagem exige que a tensão de controlo aplicada ao MOSFET do lado alto seja superior à tensão de entrada. Para tal, o método escolhido para cumprir com este requisito é o método de *bootstrap* visto ser mais simples de implementação. Este método consiste na adição de um condensador extra que fornece a tensão de acionamento necessária no ponto de controlo do MOSFET do lado superior [41].

Página propositadamente deixada em branco.

Capítulo 4

Protótipo do sistema de carregamento

Neste capítulo descreve-se o trabalho desenvolvido sobre o protótipo do sistema de carregamento para bicicletas elétricas. O sistema tem como principal objetivo realizar o carregamento e monitorização de bicicletas elétricas por intermédio de uma arquitetura elétrica modular e adaptável. Um dos requisitos foi o desenvolvimento de uma solução com o menor custo possível e que fosse capaz de integrar a solução de doca desenvolvida pelo CEiiA bem como de dois protótipos de docas não comercializados.

Desta forma, o trabalho pode ser dividido em três blocos principais:

- *Hardware*
 - PCB de interface com docas
 - PCB de carregamento para bicicletas
- *Firmware*
 - Sensorização e controlo dos periféricos da doca

- Rotinas de controlo de carregamento
- Protocolo de comunicação *wireless* para unidade centralizada
- *Software*
 - Interface gráfica com utilizador
 - Protocolo de comunicação para unidade de interface com docas

Na figura 4.1 encontra-se um diagrama que ilustra a arquitetura do sistema desenvolvido, evidenciando os principais módulos.

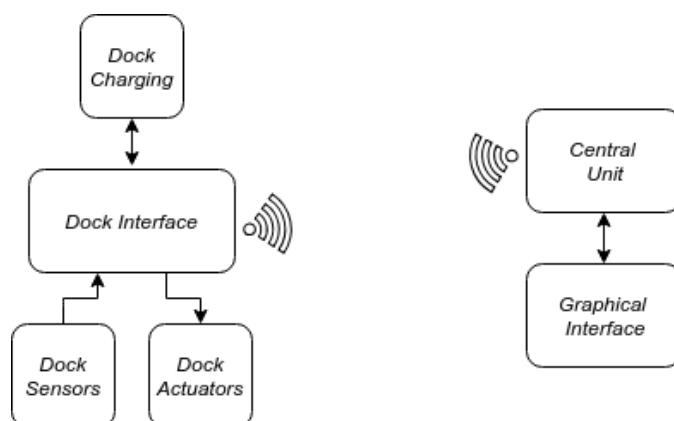


Figura 4.1: Arquitetura geral do sistema desenvolvido

4.1 Arquitetura Proposta

Por forma a validar o protótipo desenvolvido foram efetuados diversos testes de bancada e simulação em ambiente real com vista à utilização de uma doca de carregamento universal. Para a definição da arquitetura foi tida em consideração a inclusão de todo o sistema em três tipos de docas de carregamento desenvolvidas pelo CEiiA, nomeadamente Doca Universal de Carregamento, Doca Proprietária e Doca *Premium*. Evidenciam-se as suas características físicas na figura 4.2. A particularidade da utilização de cada

uma das docas difere consoante o mercado e cliente a implementar uma solução de *Bike Sharing*. De salientar que ao contrário da Doca Universal, as Docas Proprietária e *Premium* são atualmente protótipos funcionais sem que existam instruções de produção para as mesmas. Este desenvolvimento recai também numa possível solução de industrialização para a implementação da solução nos tipos de docas existentes utilizando o mesmo *hardware* de controlo e interface.



Figura 4.2: Docas de carregamento CEiA

Este desenvolvimento visa contemplar todas as necessidades inerentes ao controlo das docas visto que estas integram diferentes sensores e atuadores. A proposta à alteração da arquitetura tenta colmatar as necessidades e limitações existentes tanto na instalação bem como na operação e manutenção. Estas limitações incidem sobretudo em:

- Na quantidade de cablagem que é instalada na estação desde o totem até cada uma das docas;
- Na capacidade de docas instaladas por estação estar limitada a 32 unidades devido ao tipo de barramento de comunicação utilizado entre

o sistema de controlo no totem e cada uma das docas;

- Na capacidade para carregamento limitado a 15 docas devido à utilização de carregadores de mercado ligados independentemente a cada doca e ao espaço que estes ocupam no totem.

A alteração à arquitetura é ilustrada na figura 4.3 na qual se evidencia a ligação a cada doca passar a ser um único barramento de alimentação, ao contrário do existente atualmente. É também ilustrado que a comunicação passa a ser feita sem recurso a cablagem própria para o efeito.

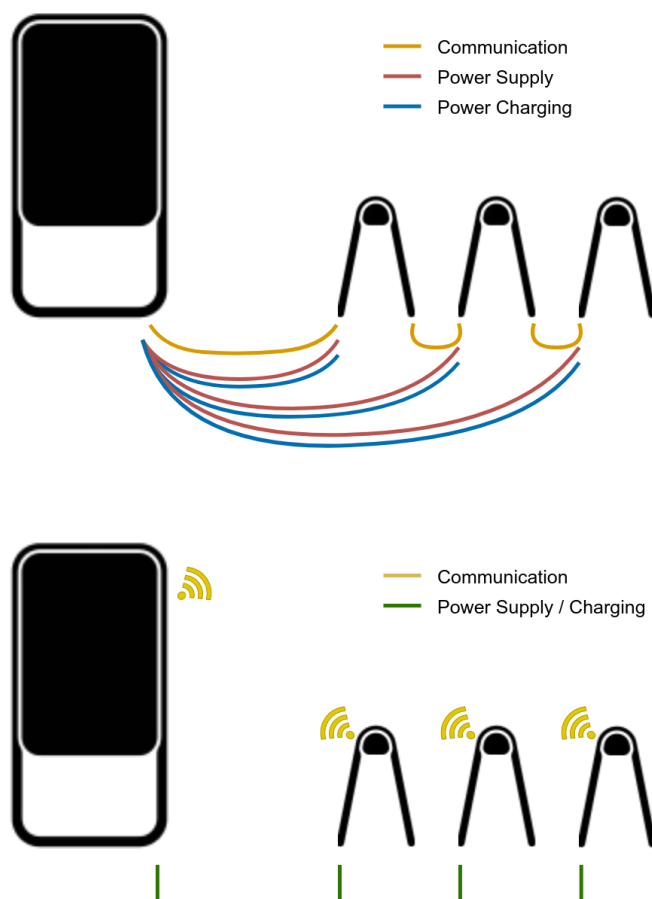


Figura 4.3: Proposta de alteração à arquitetura das estações CEiiA

4.2 Hardware

A implementação de *hardware* engloba o desenvolvimento das duas PCBs ilustradas nas figuras 4.4 e 4.5: uma para interface com a doca e outra para assegurar o carregamento. Cada tipo de doca é equipada com a montagem de uma PCB de interface e até duas PCBs de carregamento que são acopladas em *stack* com o interface.

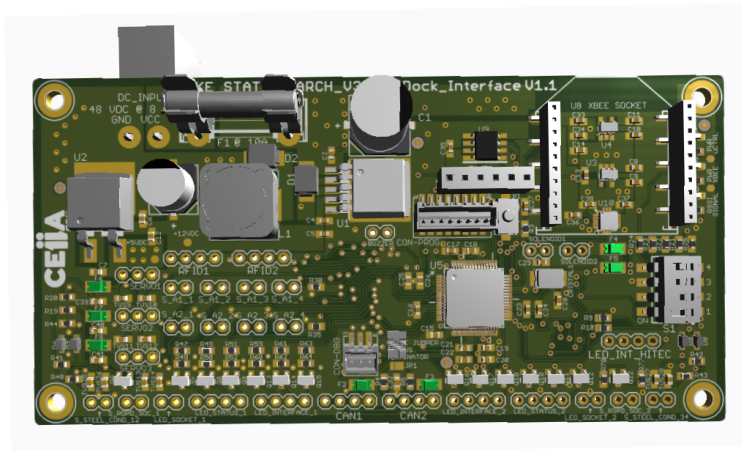


Figura 4.4: Renderização da PCB de Interface

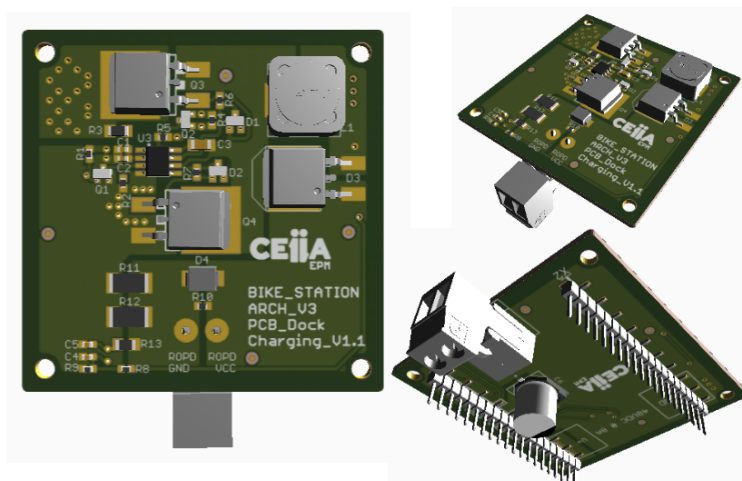


Figura 4.5: Renderização da PCB de Carregamento

A necessidade do desenvolvimento de duas PCBs devesse ao facto do espaço no interior de uma das docas ser relativamente reduzido (doca universal) e numa outra só ser necessário o controlo de carregamento em uma bicicleta (doca proprietária). Esta especificação torna o sistema relativamente versátil e configurável para cada uma das docas consoante a estratégia de utilização e negócio. No caso da doca universal, como esta possui dois lugares de estacionamento/carregamento, há a possibilidade de utilização de ambos os lugares somente como estacionamento, ou com a funcionalidade de carregamento, ou ainda misto. Para a doca proprietária é efetuada a ligação de uma PCB de carregamento ao seu interface visto que esta permite somente a ligação a uma bicicleta. Na doca *premium* existem dois lugares de estacionamento e carregamento e devido ao aumento de funcionalidades em relação às restantes tornou o interface das docas mais complexo. A alimentação desta eletrónica é conseguida através de uma fonte de alimentação AC/DC com tensão fixa de saída nos 48V DC montada no interior do totem.

4.2.1 Interface com docas

A PCB de interface com a doca, como o nome indica, é responsável por realizar a interação com todos os sensores e atuadores da mesma por forma a gerir localmente todos estes periféricos. De acordo com os requisitos definidos pelo CEiiA para este interface foi necessário selecionar um conjunto de componentes que cumprissem com as funcionalidades pretendidas. A figura 4.6 ilustra a arquitetura implementada para a PCB de interface evidenciando os sensores e atuadores, protocolos utilizados e níveis de tensão de cada módulo. O desenvolvimento foi efetuado com recurso ao *software Autodesk Eagle 8.6.0* o que permitiu desenhar esquemático e *layout* da PCB e gerar respetivos ficheiros para produção da mesma. Nos anexos A e B encontram-se o esquemático e *layout* completo da placa desenvolvida. Por fim, podem observar-se

na figura 4.7 a parte inferior e superior da PCB produzida, já assembledada.

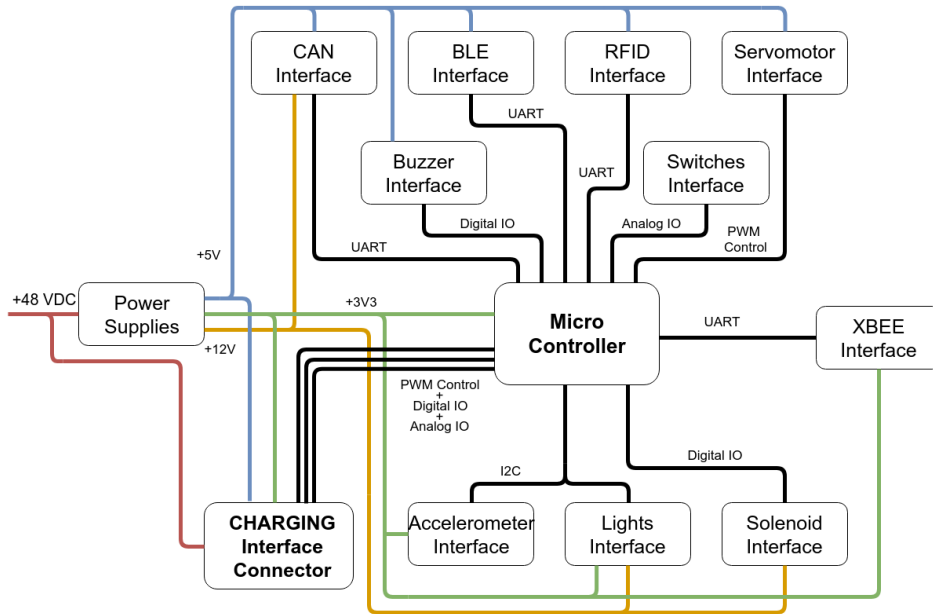


Figura 4.6: Diagrama geral da PCB de interface

As funcionalidades implementadas vão de acordo com as necessidades de sensorização, atuação, interface para o utilizador, sinalética e alarmística: Com isto, toma-se em consideração que as docas possuem:

- Sensorização por meio de interruptores para deteção de vandalismo às partes removíveis das docas;
- Sensorização por meio de interruptores para deteção de posição de trancamento do cabo de aço (docas universal e *premium*) e posição da bicicleta (doca proprietária);
- Sensorização ao corte do cabo de aço (docas universal e *premium*) por meio de continuidade de condução elétrica;
- Sensorização por meio de acelerómetro para deteção de vandalismo à estrutura das docas;

- Atuação de servomotores em sistema mecânico para travamento de cabos de aço (docas universal e *premium*);
- Atuação de solenoides em sistema mecânico de travamento de bicicleta (doca proprietária);
- Comunicação em barramento *Controller Area Network* (CAN) com as bicicletas através do cabo de carregamento e comunicação;
- Comunicação por *wireless* utilizando módulos XBEE;
- Autenticação do utilizador por meio de leitores RFID;
- Alarmística e interação com o utilizador gerado com recurso a um *buzzer*;
- Interação com utilizador através do controlo de iluminação apropriada para informação do estado da doca;
- Interação com utilizador com recurso a *Bluetooth Low Energy* (BLE);
- Controlo e interface com sistema de carregamento para bicicletas elétricas.



Figura 4.7: Faces superior e inferior da PCB de interface produzida

4.2.1.1 Fontes de alimentação

A fonte de alimentação principal de todo o sistema é instalada no interior do totem. Esta fonte AC/DC tem como características elétricas 3000 W de potência e tensão nominal de saída de 48V DC. Com estas características, é necessário em cada doca a conversão de energia para alimentação dos circuitos eletrônicos que necessitam de níveis de tensão mais baixos, nomeadamente 12V DC, 5V DC e 3V3 DC. Na figura 4.8 é representado o esquema de alimentações contido na placa desenvolvida para colmatar todas as necessidades de tensão para os periféricos da doca.

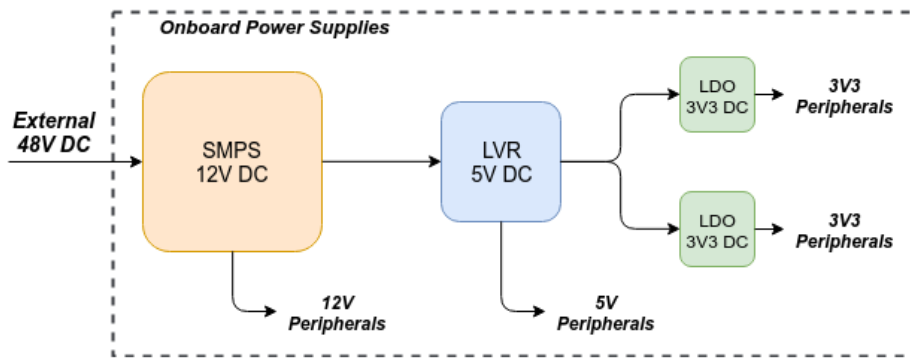


Figura 4.8: Esquema de alimentação na placa desenvolvida

É feita uma conversão de tensão de 48V DC para 12V DC através de uma *Switching Mode Power Supply* (SMPS) para servir as restantes fontes de alimentação bem como os periféricos cuja alimentação necessite deste nível de tensão. Esta fonte garante uma corrente de saída de 3 A. Entre os periféricos alimentados, as fitas de LED *Red Green Blue* (RGB) para interface visual com o utilizador, os solenoides de atuação das trancas e o módulo de CAN para comunicação com a bicicleta. Para a alimentação dos periféricos de 5V DC, tais como o interface de RFID, BLE, buzzer e servomotores, foi selecionado um *Linear Voltage Regulator* (LVR) que garantisse o nível de tensão desejado, assim como a alimentação das restantes fontes de 3V3 DC. Esta

fonte fornece um *output* de corrente em torno de 1,5 A o que garante a necessidade de consumo de todos os periféricos. A alimentação dos periféricos de 3V3 DC é feito com recurso a dois *Low-Dropout Regulator* (LDO), um para alimentação do microcontrolador e outros *Integrated Circuits* (IC) com necessidade deste nível de tensão, tais como o acelerómetro e *driver* dedicado ao controlo da iluminação. A outra fonte é dedicada exclusivamente à alimentação do módulo de comunicação *XBee*. A utilização de duas fontes separadas deveu-se ao facto do LDO ter um *output* de corrente em torno dos 600 mA sendo uma desvantagem para alimentar os periféricos acoplados a um só barramento. O consumo de corrente dos periféricos que necessitam de uma corrente superior criariam uma dissipação de potência desnecessária. A grande vantagem da utilização em separado é que para além de ter dimensões relativamente pequenas o seu custo é consideravelmente baixo. O dimensionamento destas fontes de alimentação e dos componentes adjacentes levou em consideração as notas de aplicação dos fabricantes para se obter um melhor desempenho para a aplicação desejada [42] [43] [44].

4.2.1.2 Microcontrolador

Para o processamento e controlo de todo o sistema, o desenvolvimento assentou sobre o microcontrolador *Tiva C™* TM4C123GH6PMI do fabricante *Texas Instruments*. Esta seleção vai de acordo com os requisitos necessários (protocolos de comunicação, custo, apoio documental disponível, entre outros) e sendo sugerido pelo CEiiA e utilizado noutros projetos pela equipa de desenvolvimento. É um microcontrolador com arquitetura *Advanced RISC Machine* (ARM) de 32 bits, com oscilador interno de 16Mhz e frequência de funcionamento até 80Mhz, *Analog to Digital Converter* (ADC) de 12 bits, dois módulos de *Pulse With Modulation* (PWM) e suporta vários tipos de comunicação de baixo nível entre outras funcionalidades [45].

Os protocolos de comunicação de baixo nível são utilizados para realizar a transferência de dados entre os diferentes ICs e sensores com o microcontrolador. O protocolo pode definir regras de sintaxe, semântica, sincronização de comunicação e métodos de recuperação de erros. Estes protocolos podem ser implementados por hardware, software ou uma combinação de ambos. Na figura 4.9 é representado o diagrama de alto nível dos periféricos referenciados.

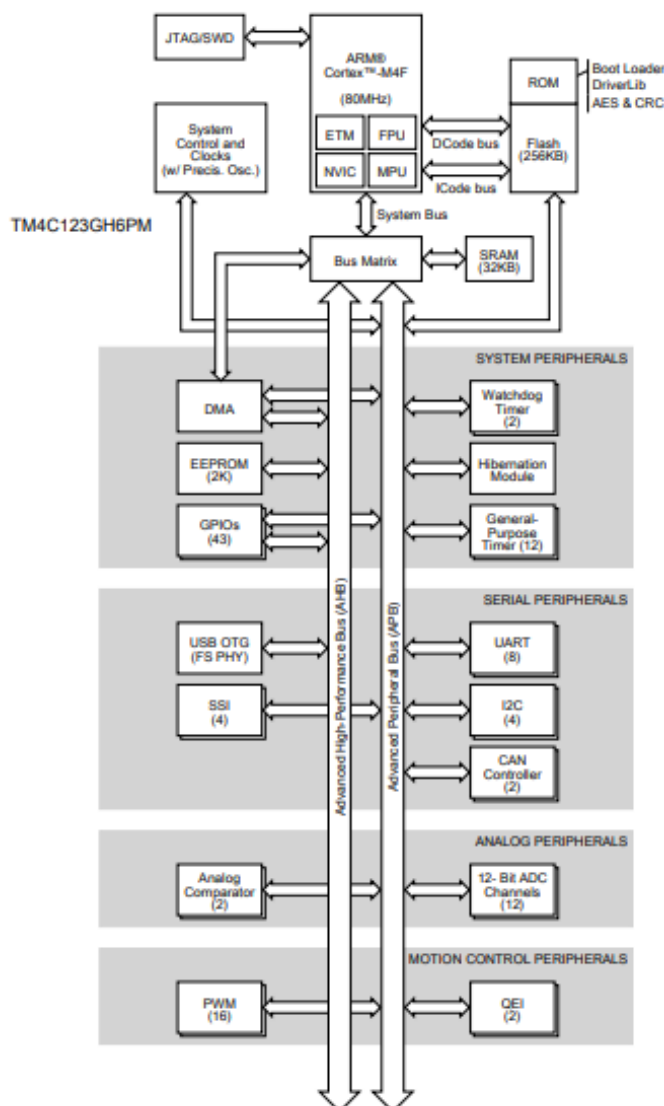


Figura 4.9: Diagrama de blocos alto nível do microcontrolador [45]

4.2.1.3 Comunicações

A comunicação de dados entre as docas e o totem é assegurada por uma comunicação sem fios com recurso ao módulo de comunicação *Digi XBee™* [46] que permite recolher e processar os dados em tempo real. Os módulos *XBee* pertencem a uma ampla gama de produtos *wireless* da marca internacional *Digi* e permitem diversos protocolos de comunicação como o IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 entre outros protocolos. Possuem um *form-factor* proprietário e específico, nos formatos *Through Hole Technology* (THT), *Surface Mount Technology* (SMT) e *Micro Mount Technology* (MMT). Disponibilizam também várias opções de antenas, nomeadamente u.FL, embutido na PCB, fio e RPSMA. O referido módulo utiliza o protocolo IEEE 802.15.4 para comunicação entre outros módulos semelhantes e disponibiliza uma velocidade de transferência de dados de 250 kbit/s. Os módulos *XBee* permitem construir redes de comunicação simples (ponto-a-ponto ou estrela) ou redes mais complexas (redes em malha ou em árvore) [47].

A figura 4.10 evidencia as topologias de rede possíveis de construir.

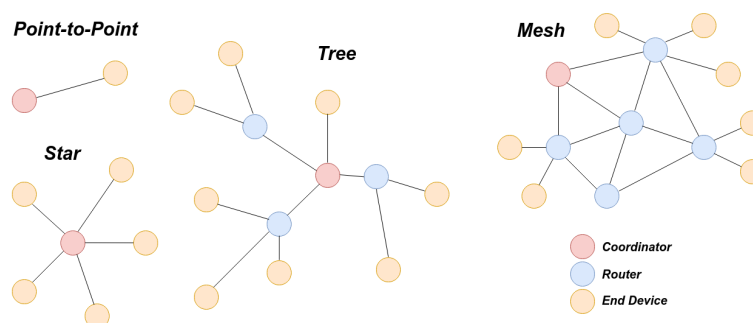


Figura 4.10: Exemplos de estrutura redes com *Digi XBee*

Os dispositivos podem ser configurados de três formas diferentes, como visualizado também na figura 4.10:

- **Coordinator** - Funciona como *master* e é responsável por criar e gerir

a rede. Deve sempre existir apenas um dispositivo deste tipo;

- **Router** - Responsável por reencaminhar os dados entre módulos, não havendo obrigatoriedade da existência destes dispositivos dependendo sempre da dimensão da rede;
- **End Device** - Dispositivo mais próximo do *hardware* e que tem a capacidade de entrar em poupança de energia desligando alguns recursos.

Estes módulos podem operar em modo transparente ou em modo *Application Programming Interface* (API) baseado em pacotes de dados. No modo transparente, os dados que entram no pino *data in* são transmitidos diretamente para os módulos receptores pretendidos, sem qualquer modificação. Os pacotes de entrada podem ser endereçados diretamente a um destino (ponto-a-ponto) ou transmitidos para múltiplos destinos (estrela). Esse modo é usado principalmente em instâncias em que um protocolo existente não pode tolerar alterações no formato de dados.

No modo API, os dados são agrupados numa estrutura de pacotes que permite endereçamento, configuração de parâmetros e *feedback* de entrega de pacotes.

Neste projeto foi utilizada uma comunicação em malha, com o dispositivo no totem como *coordinator* e nas docas como *routers* para garantir que os dados sejam sempre transmitidos independentemente da distância a que os dispositivos mais afastados possam estar. O *coordinator* é configurado no modo API para que seja possível a comunicação com múltiplos dispositivos e não apenas para um só. As docas como *routers* são configuradas em modo transparente por forma a não aumentar a complexidade de descodificação da mensagem recebida, sendo apenas o seu conteúdo entregue ao microcontrolador para processamento. Foi utilizado o protocolo de comunicação *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) para a comunicação entre o microcontrolador e o módulo *XBee S2C*, ou seja, utilizando um protocolo

de baixo nível de ligação série assíncrona e de apenas duas linhas de dados (RXD e TXD).

Com vista à integração do sistema com dispositivos móveis através de comunicação local, foi projetada a inclusão de um módulo de comunicação por BLE. O *hardware* encontra-se preparado para receber um módulo de compra e a comunicação com o microcontrolador será feita por UART. Adicionalmente, foi introduzido um *level shifter* caso o módulo a ser incorporado funcione a um nível de tensão diferente ao do microcontrolador.

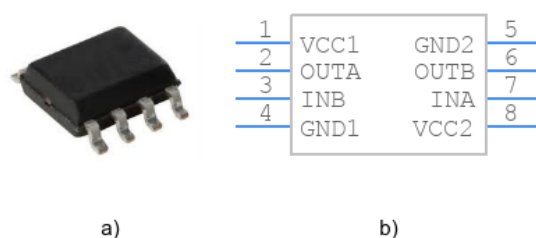


Figura 4.11: *Level shifter Texas Instruments ISO7221ADR*

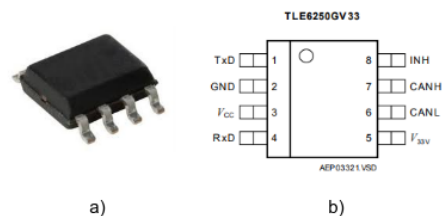
Na figura 4.11 a) é possível visualizar o IC da *Texas Instruments ISO7221ADR* de 8 pinos para montagem SMT e em b) o respetivo símbolo, evidenciando os pinos para isolamento das linhas para transmissão de dados [48].

Para assegurar a comunicação entre a doca e a bicicleta é usada comunicação CAN visto ser um protocolo disponibilizado do lado da bicicleta. Para tal, utilizou-se um cabo e conector específico que oferecem interface para garantir a comunicação, uma alimentação auxiliar ao sistema eletrónico da bicicleta e a alimentação do sistema de carregamento da bateria da bicicleta. Na figura 4.12 é apresentado o sistema de conexão RoPD que permite uma conexão magnética e garante um índice de proteção IP65, disponibilizando dois pinos para alimentação até 60V DC @ 40A, dois pinos para comunicação utilizados com protocolo CAN e dois pinos para alimentação auxiliar de 12V DC caso a bicicleta fique sem energia [49].



Figura 4.12: Conectores RoPD

O protocolo CAN é o mais utilizado no ramo automóvel para comunicação entre os diferentes módulos constituintes do veículo. Apresenta uma comunicação diferencial (CAN *High* e CAN *Low*) e necessita de um controlador e um *transceiver* em cada módulo. O *transceiver* é responsável por gerir a transmissão dos dados no barramento, enquanto que o controlador é responsável por gerir as tramas do protocolo, ou seja, filtrar a mensagem recebida e criar as diferentes tramas para a transmissão de dados. No que diz respeito ao controlador de CAN, o microcontrolador já possui um módulo interno que assegura essa função, tendo sido necessário a seleção de um *transceiver*. Na figura 4.13 a) é possível visualizar o IC da *Infineon* TLE6250 de 8 pinos para assemblagem SMT e em b) o respetivo símbolo, evidenciando os pinos para ligação ao microcontrolador e ao barramento de CAN [50].

Figura 4.13: *Transceiver Infineon* TLE6250

4.2.1.4 Sensores

Tendo em conta o funcionamento do sistema, a PCB de interface com as docas integra um conjunto de módulos com vista à sensorização de determinados periféricos para garantir um conjunto de funcionalidades e casos de utilização. Para prever um possível vandalismo da estrutura das docas foi adicionado um acelerómetro para permitir a deteção de movimento nesta mesma estrutura. O acelerómetro permite medir a aceleração linear em três eixos e a comunicação com o microcontrolador é feita através do protocolo *Inter-Integrated Circuit* (I2C). Foi utilizado o acelerómetro da *NXP Semiconductors* MMA8452Q [51] onde se evidencia na figura 4.14 a) o IC de 16 pinos e assemblagem SMT e em b) os pinos de conexão, principalmente ao barramento de I2C.

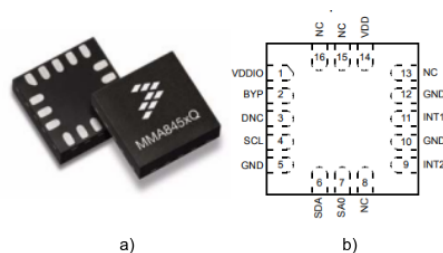


Figura 4.14: Acelerómetro *NXP Semiconductors* MMA8452Q

Esta comunicação I2C é um interface de comunicação série síncrono, ou seja, o envio de dados encontra-se sincronizado com um sinal de relógio e a capacidade de envio e receção de dados é feito na mesma linha, realizado nos dois sentidos mas nunca ao mesmo tempo. Permite a comunicações entre um dispositivo denominado de Master, que controla o fluxo de informação, e um ou vários dispositivos denominados de Slave, que apenas comunicam quando o Master o permite. Para a comunicação são apenas necessárias duas linhas, a linha SDA, como linha de dados, e a linha SCL como linha de relógio. Deve ser utilizado como comunicação a curta distância, se possível entre

componentes no mesmo PCB, e permite uma frequência de funcionamento geralmente entre os 100kHz e os 400kHz [52].

No sistema atual de *bike sharing* CEiiA é assegurada a autenticação dos utilizadores do serviço por meio de aplicação para *smartphone* ou por meio de cartão RFID através de um módulo apropriado para o efeito utilizando rádio frequência para transmissão de dados. O módulo sugerido e utilizado pelo CEiiA é um módulo baseado no IC da *NXP Semiconductors* PN532 [53] com dimensões relativamente reduzidas. A comunicação com o microcontrolador é estabelecida através de UART utilizando da mesma forma o *level shifter* referenciado anteriormente, por forma a garantir a compatibilidade dos níveis de tensão nas linhas de comunicação entre os IC. Na figura 4.15 representa-se o módulo utilizado.



Figura 4.15: RFID PN532

Devido à quantidade de *switches* necessários ao funcionamento do interface com as docas para a sensorização de diversos periféricos como referido anteriormente e devido ao número de pinos disponíveis no microcontrolador para leitura do estado dos mesmos, seguiu-se uma estratégia de leitura com recurso ao ADC do microcontrolador. Na figura 4.16 é apresentado parte do esquema utilizado para a leitura, através de um pino do microcontrolador, do estado de quatro *switches*.

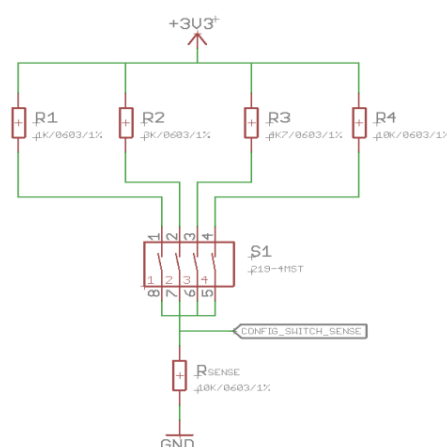


Figura 4.16: Esquema de leitura de *switches* por meio de ADC

4.2.1.5 Atuadores

Para intervenção alarmística e interface com o utilizador por meio sonoro foi introduzido um *buzzer* para garantir essa funcionalidade. Os pinos de saída do microcontrolador não possuem grande capacidade de débito de corrente. Como tal, foi dimensionado um *driver* com recurso a um MOSFET para a atuação do *buzzer*. Pretende-se que seja versátil ao ponto de, fixando o nível de tensão de alimentação do *buzzer* nos 5V DC, a corrente possa variar até ao máximo de 1.4 A (corrente máxima de dreno do MOSFET).

Foi utilizado o mesmo método para o *driver* de atuação de solenoides. Estes solenoides são responsáveis pelo desencravamento mecânico dos trincos que bloqueiam a bicicleta CEiiA da doca proprietária. Do mesmo modo o dimensionamento foi tido em conta para uma gama de solenoides alimentados a 12V DC e com limite de corrente até ao máximo de 1.4 A.

Outra via de interface com o utilizador é feita de forma visual por meio de iluminação LED RGB. Pelo mesmo motivo de serem necessário vários *outputs* para atuação individual de cada cor de cada uma das fitas e haver limitação de pinos por parte do microcontrolador, optou-se pela utilização de

um LED *driver*. O PCA9685 da *NXP Semiconductors* permite controlar 16 canais independentes por meio de PWM [54]. Uma vantagem da utilização deste IC é que a sua ligação é feita por I2C ao microcontrolador, poupando assim uma quantidade de pinos que seriam necessários. Como este *driver* não possui uma corrente de dreno elevada nas suas saídas é feito o *driving* com recurso a um MOSFET com as mesmas características descritas anteriormente para os restantes atuadores. A figura 4.17 a) mostra o IC de 28 pinos e assemblagem SMT e em b) os pinos de conexão evidenciando os de ligação ao barramento de I2C assim como os de controlo dos LED's.

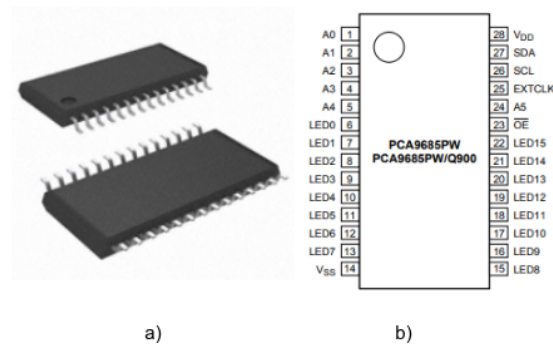


Figura 4.17: LED *driver* NXP PCA9685

4.2.2 Carregamento de bicicletas elétricas

A PCB de carregamento de bicicletas elétricas é responsável por alvegar todos os componentes eletrônicos necessários à conversão de potência para carregamento. A topologia de conversor utilizado foi um *Buck* ou *Step-Down* totalmente controlado. A figura 4.18 ilustra a arquitetura implementada para a PCB de carregamento evidenciando a conexão à PCB de interface. Nos anexos C e D encontram-se o esquemático e layout completo da placa desenvolvida. Por fim, na figura 4.19 a parte inferior e superior da PCB produzida, já assembled.

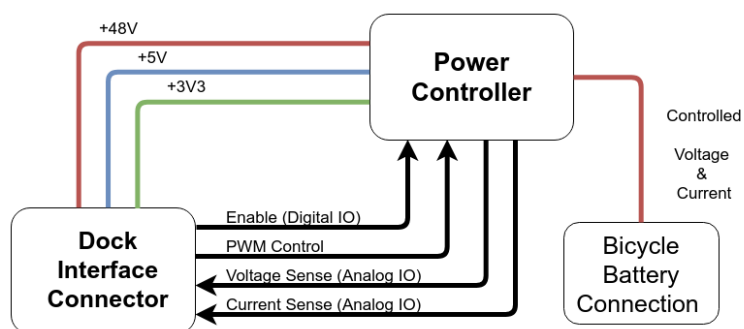


Figura 4.18: Diagrama geral da PCB de carregamento



Figura 4.19: Faces superior e inferior da PCB de carregamento produzida

4.2.2.1 Topologia

A topologia adotada para controlo de carregamento das baterias das bicicletas elétricas CEiiA foi um conversor do tipo *step-down* totalmente controlado ou síncrono. Como referido anteriormente, é instalado a montante uma fonte de alimentação AC/DC com tensão fixa de saída nos 48V DC. O conversor desenvolvido ajusta a tensão de entrada proveniente da fonte de alimentação para a tensão da bateria. Na figura 4.20 é representado o esquema da topologia implementada para o carregamento.

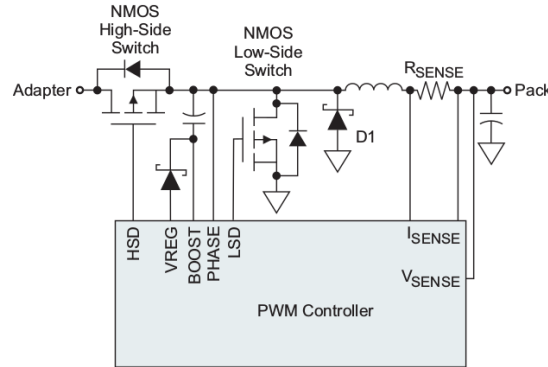


Figura 4.20: Topologia do conversor implementado [41]

A cada iteração do controlo por PWM é ajustada e limitada a tensão e corrente de carga para um valor parametrizado consoante o *feedback* obtido sobre o valor da tensão e corrente momentânea no carregamento. Os dispositivos de potência utilizados para comutação foram MOSFET's do tipo N. A vantagem na sua utilização é que a resistência interna entre o dreno e a fonte é mais baixa o que se traduz em perdas menores. Com isto, permite uma frequência de comutação mais alta e consequentemente diminui os requisitos para a bobine e o condensador do filtro de saída. O MOSFET do lado alto é fechado e a tensão da fonte é aplicada à bobine. Durante o tempo em que é desligado o diódo de *free-wheeling* fornece um caminho

para a corrente da carga e o MOSFET do lado baixo minimiza as perdas neste diodo [41]. A desvantagem do uso de um MOSFET do tipo N no lado alto é que para ativá-lo requer um método específico que aplique uma tensão maior que a tensão de entrada. Para tal foi utilizado o método de *bootstrap* visto ser mais simples de implementar e não requer uma tensão superior à tensão de entrada, somente é necessário a adição de um condensador e um diodo ao circuito. Devido à utilização desta técnica o *duty-cycle* da onda PWM não pode ser mantido a 100% para que o condensador possa carregar totalmente durante o tempo em que o MOSFET do lado baixo esteja ligado. Para assegurar as necessidades descritas, foi utilizado um IC dedicado para o efeito que garanta a operação para esta topologia.

4.2.2.2 Driver

O *driver* utilizado para o conversor *step-down* totalmente controlado é um IC da *ST Microelectronics*. O L6384E [55] é um *driver* que permite o controlo em meia ponte de dispositivos de potência tais como MOSFET ou *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Permite uma comutação até 400 kHz e suporta uma tensão de entrada até 600 V. As saídas não podem ser habilitadas em simultâneo devido ao controlo por um único pino, tornando-se uma vantagem por garantir que não há o risco de curto-circuito entre os dois pinos de saída. A figura 4.21 a) mostra o IC de 8 pinos e assemblagem SMT e em b) os pinos de conexão evidenciando os de controlo e atuação.

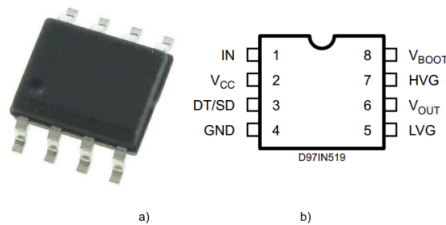


Figura 4.21: *Driver ST L6384E*

A configuração deste *driver* teve em consideração o seu *datasheet* e as notas do fabricante para a sua utilização. O pino *IN*(1) como demonstrado na figura 4.21 b) é o pino de controlo lógico onde é aplicado o sinal PWM. O pino *DT/SD*(3) tem dupla funcionalidade. Quando a tensão no pino é inferior a 0,5 V o *driver* fica desabilitado ou pode ser configurado o *deadtime* entre as duas saídas colocando uma resistência entre o pino e a massa. O pino *LVG*(5) e *HVG*(7) são os pinos de controlo das *gates* dos MOSFET's. O pino *VBOOT*(8) é um pino de ligação do condensador de *bootstrap* e o pino *VOUT*(6) serve como *feedback* da saída para controlo do lado alto do *driver*. A estrutura de *bootstrap* consiste em garantir a tensão necessária para o controlo do MOSFET ligado à parte alta do *driver* através de um condensador e um diodo de recuperação rápida integrado no IC.

4.2.2.3 Sensorização de Tensão e Corrente

Para monitorização do sistema de carregamento é necessário efetuar medições constantes dos valores de tensão e corrente. Devido a esta necessidade, utilizou-se um método de divisão de tensão para efetuar a medição com recurso ao ADC do microcontrolador. Este método foi escolhido por ser economicamente mais viável e a sua implementação ser de forma rápida e simples. No caso dos valores de tensão, a tensão suportada é até 20 vezes superior à tensão de alimentação do microcontrolador, ou seja cerca de 70V DC, devido ao divisor resistivo utilizado. Para a medição da corrente que circula no circuito colocaram-se em serie com a bateria resistências de valor resistivo baixo e alta capacidade de dissipação. A medição é efetuada na mesma com recurso ao ADC do microcontrolador e neste caso a limitação de corrente depende da capacidade de dissipação de potência das resistências, que está em torno de 2 W, ou seja, permite a passagem de aproximadamente

5 A visto a resistência ser de $75 \text{ m}\Omega$. Na figura 4.22 é ilustrado o circuito utilizado para medição da tensão e corrente do sistema de carregamento. À esquerda o divisor resistivo referenciado com a etiqueta *voltage_sense* para medição de tensão e do lado direito as resistências de potência em série entre o conector de ligação da bateria e a referência do circuito identificado com a etiqueta *current_sense* para medição de corrente.

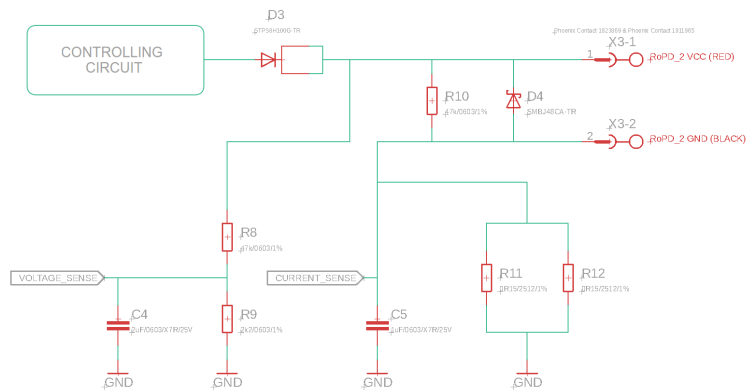


Figura 4.22: Circuito de medição de tensão e corrente.

4.3 Firmware

O *firmware* desenvolvido contempla um conjunto de funções a serem executadas no microcontrolador da PCB de interface com as docas referenciado anteriormente. A implementação foi feita com recurso ao *Integrated Development Environment* (IDE) *Energia*, baseado na *framework Arduino*. Este IDE *opensource* surgiu com o intuito de dar suporte às placas de desenvolvimento da *Texas Instruments* fornecendo um conjunto de funções e bibliotecas que tornam a sua utilização mais eficaz e possibilitando também a escrita de código nas linguagens *C* e *C++*. A *Texas Instruments* também fornece um *Software Development Kit* (SDK), *TivaWare*[™] [56], onde são apresentados um conjunto de funções e exemplos que simplificam o desenvolvimento e a integração com os periféricos do microcontrolador.

C é uma linguagem de programação compilada com propósito geral, estruturada e padronizada sendo das mais populares. Inicialmente criada para desenvolvimento do sistema operativo *Unix*, mas transversal a muitas plataformas, sendo utilizada em diversos processadores e microcontroladores e tem influenciado muitas outras linguagens de programação nomeadamente *C++* [57]. *C++* é uma linguagem de programação compilada multi-paradigma, orientada a objetos e de uso geral. Surgiu como forma adicional à linguagem *C* introduzindo novas características facilitando a interpretação e aumentando as potencialidades providenciadas ao programador [58]. O algoritmo base implementado no microcontrolador é executado à frequência de trabalho do mesmo e é representado na figura 4.23. No diagrama evidencia-se que após iniciada a sua execução, são efetuadas as configurações dos módulos de interface conforme sugerido pelo fabricante e que melhor se adequam à estrutura planeada. Após isso, são executados num ciclo infinito as seguintes verificações:

- Dados correspondentes ao módulo de comunicação;

- Estado dos *inputs/switches* e atualização de *outputs*/atuadores;
- Detecção de presença de cartão por meio do módulo de RFID;
- Controlo dos módulos de carregamento.

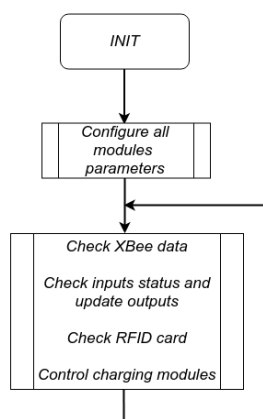


Figura 4.23: Algoritmo geral no microcontrolador

A figura 4.24 ilustra os algoritmos complementares dos restantes módulos que são executados no ciclo principal. No que diz respeito à análise da comunicação de dados vindos pela porta série referente ao módulo *XBee*, é verificado se existem *bytes* para preenchimento do *buffer* de receção. Após a validação dos dados recebidos é feita a identificação da mensagem a ser processada. As mensagens recebidas permitem a execução de funções tais como leitura de estado de sensores e atuação nos diferentes periféricos do sistema.

No final é preenchido um *buffer* de dados que será retornado pelo mesmo canal, para verificações do lado do dispositivo de controlo do sistema. Caso não haja dados para serem analisados ou os dados recebidos sejam inválidos retorna para as verificações seguintes.

Numa primeira fase, a rotina implementada para leitura dos *switches* verifica o estado daqueles que são ligados diretamente a pinos digitais do microcon-

trolador. De seguida, é efetuado um conjunto de leituras aos *arrays* de *switches* ligados através do ADC do microcontrolador e calculado qual o estado de cada switch. Por fim, é efetuada a atualização do estado de atuadores que são geridos localmente e dependem do estado dos periféricos de entrada no sistema, nomeadamente, atuação do *buzzer* em caso de vandalismo e atualização da iluminação de estado da doca.

Caso haja a necessidade de leitura de um cartão *contactless*, a rotina de deteção de cartão por meio do módulo RFID, guarda os dados lidos num *buffer* e envia para posteriormente serem analisados pela unidade central do sistema.

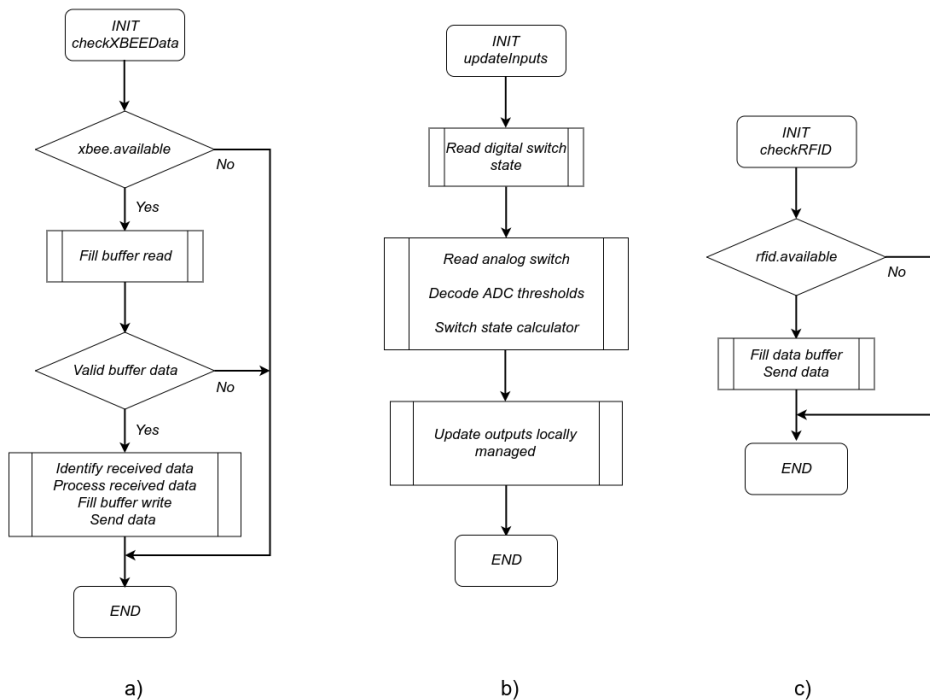


Figura 4.24: Algoritmos complementares executados no ciclo principal

O algoritmo simplificado de controlo e gestão do carregamento da bateria é representado na figura 4.25. O controlo está relacionado com a PCB de carregamento desenvolvida. O método utilizado para o carregamento foi o CC/CV apropriado ao carregamento de baterias Li-ion presentes nas bicicle-

tas CEiiA.

Numa fase anterior de inicialização dos módulos de *firmware* de interface do microcontrolador foram tidas em consideração algumas parametrizações. Para o subsistema de carregamento, configuraram-se inicialmente o pino de *enable* do módulo de carregamento, o pino de deteção de presença do módulo e os pinos para medição de corrente e tensão de carregamento. Como o controlo do circuito eletrónico de carregamento é feito através de PWM foi efetuada a configuração do módulo interno do microcontrolador conforme sugerido pelo fabricante, utilizando um conjunto de funções por ele disponibilizados no SDK. Tomou-se em consideração uma frequência de oscilação do PWM de 50kHz. Para que exista um controlo ativo do carregamento, foi efetuada a configuração de um *timer* para permitir a atualização do PWM de controlo. Esta atualização é feita a 50Hz, ou seja a cada 20ms, para que o sistema seja responsivo e consiga reagir rapidamente a qualquer alteração inesperada durante o carregamento.

Foram criadas duas funções para que fosse possível controlar o carregamento por meio da unidade central. A função de *start* só é permitida se a PCB de carregamento estiver efetivamente conectada na PCB de interface com a doca, caso contrário é enviada uma mensagem de informação deste estado. A função de controlo de carregamento é executada constantemente no *loop* principal mas só toma repercussões caso se verifiquem algumas condições, nomeadamente, a *flag* do *timer* esteja habilitada e a ordem de *start* tenha sido efetuada.

A cada iteração da função do controlo de carregamento é efetuada a atualização do *duty cycle* como representado no algoritmo da figura 4.25. Para esta atualização são tidas em consideração as medições de corrente e tensão no circuito a cada instante. No primeiro modo de operação, em modo de corrente constante (CC), pretende-se que a corrente alcance o valor de corrente de referência para carregamento incrementando o *duty cycle*. Caso o valor de

referência da corrente seja ultrapassado o valor do *duty cycle* deve diminuir. A transição para o modo de tensão constante ocorre quando a tensão medida aos terminais da bateria é igual à tensão de referência. Esta comparação é efetuada a cada iteração de execução do algoritmo para que o sistema seja o mais responsivo possível. No modo de tensão constante (CV) pretende-se que a tensão na bateria seja mantida em torno da tensão máxima até que a corrente de carregamento decaia naturalmente até um mínimo aceitável para o término do carregamento. Tal como acontece para a comutação de modo, é efetuada uma verificação a cada iteração de controlo para que seja dado o término do carregamento.

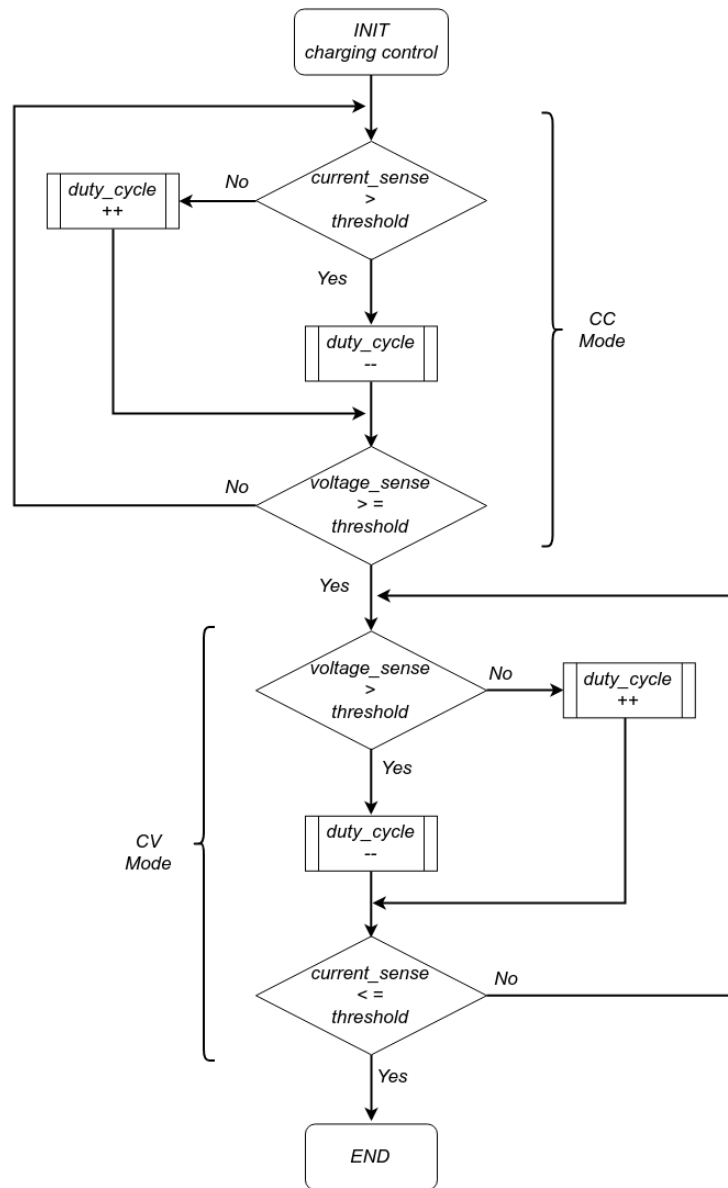


Figura 4.25: Algoritmo simplificado do carregamento de baterias

4.4 Software

A estrutura de *software* desenvolvida tem como objetivo servir de interface gráfico à operação para monitorização e controlo do sistema de carregamento. A aplicação foi desenvolvida em *C#* com recurso ao IDE *Microsoft Visual Studio*. Esta aplicação executa um conjunto de funções e envia os comandos para a PCB de interface do sistema via *XBee*.

C# é uma linguagem de programação desenvolvida pela *Microsoft* como parte da plataforma *.NET*. A sua sintaxe é orientada a objetos e foi baseada no *C++* mas inclui muitas influências de outras linguagens de programação, principalmente *Java* [59].

A *.NET Framework* é uma plataforma única para desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações. Todo e qualquer código gerado para *.NET* pode ser executado em qualquer dispositivo que possua uma *framework* deste tipo. Neste caso, o programador deixa de escrever código para um sistema ou dispositivo específico passando a escrever com vista à plataforma [60].

A figura 4.26 ilustra uma janela da aplicação desenvolvida onde se evidenciam os comandos e a monitorização de dados por parte do operador.

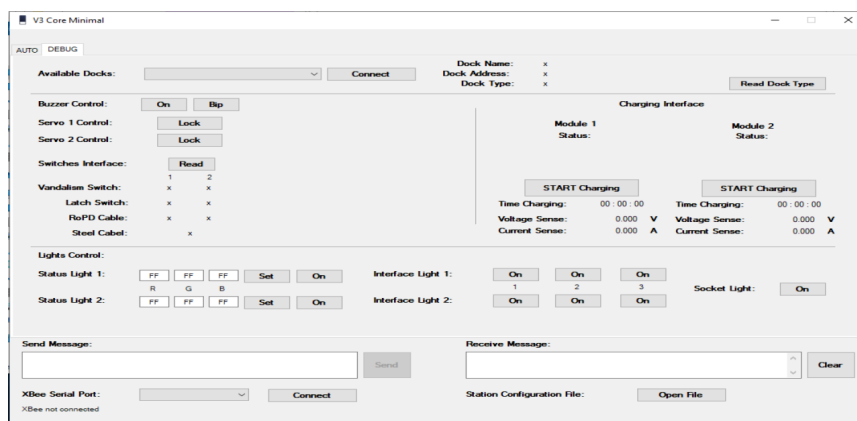


Figura 4.26: Janela demonstrativa da aplicação desenvolvida

A aplicação corre um protocolo de comunicação criado para o funcionamento

com o módulo *XBee S2C* em modo API que é ligado ao computador. A configuração dos módulos *XBee S2C* utilizados para a comunicação foi feita através do *software X-CTU* da *Digi*, onde é definido o módulo coordenador da rede, modo de operação entre outras configurações.

Para manipulação da aplicação desenvolvida, inicialmente é necessário selecionar a porta série onde esta ligado o módulo e efetuar a conexão. Se as condições de ligação estiverem conformes, a ligação será estabelecida, caso contrário serão apresentadas mensagens de erro. Por forma a estabelecer a conexão independente a cada uma das docas é necessário a importação de um ficheiro que contém os dados de configuração da estação onde estão definidos os nomes das docas e os endereços de cada módulo instalado. Após isto, e efetuando a conexão independente a uma doca, é possível enviar comandos referenciados em cada botão do interface gráfico. Estes comandos podem ser:

- Controlar o *buzzer*;
- Controlar os servomotores;
- Efetuar a leitura dos *switches*;
- Controlar a iluminação RGB e estática;
- Controlar o carregamento das baterias das bicicletas.

No que diz respeito ao controlo do carregamento das baterias é apresentado o estado de carregamento assim como indicadores de tensão e corrente referentes.

Estruturalmente, este *software* foi construído sobre dois processos em simultâneo. O processo principal gere todas as funcionalidades de controlo da interface gráfica bem como da estruturação e criação das tramas necessárias para envio para a PCB interface das docas. Paralelamente, decorre um

processo de recepção de dados vindo da PCB de interface das docas onde é feita a análise das tramas recebidas e mostrados os dados nos campos respectivos. A figura 4.27 resume o funcionamento do algoritmo desenvolvido para o *software* da interface gráfica.

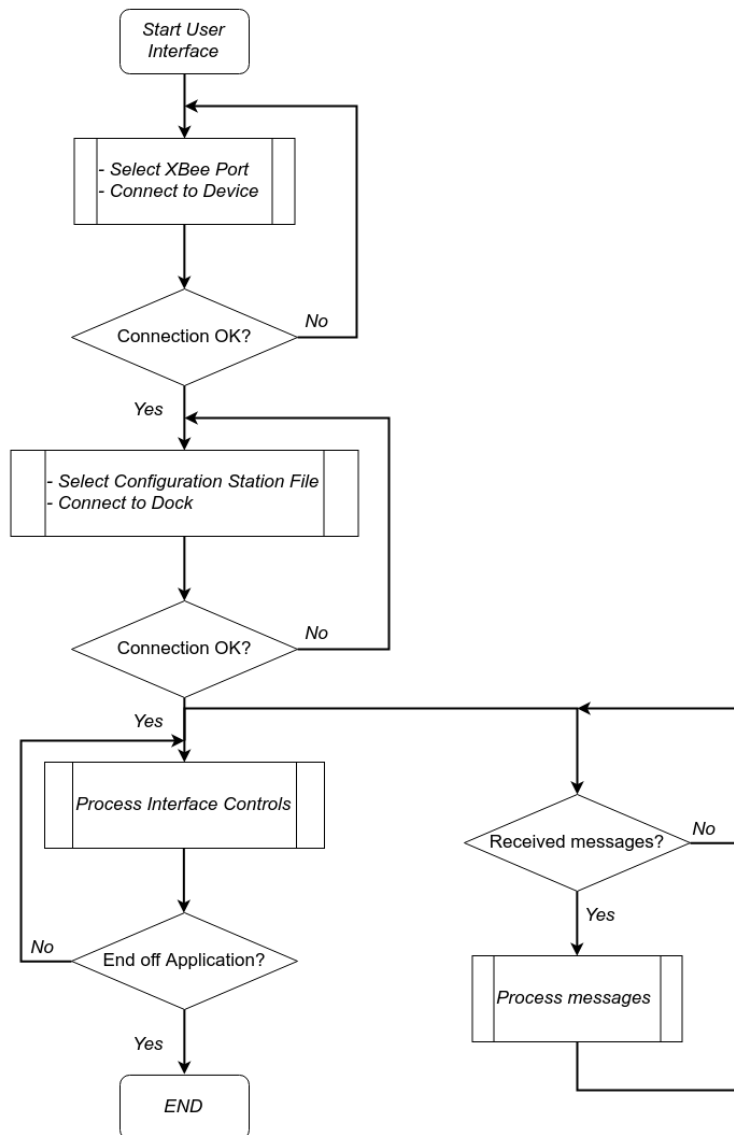


Figura 4.27: Algoritmo da interface gráfica

Página propositadamente deixada em branco.

Capítulo 5

Testes e Resultados

Após o desenvolvimento do trabalho descrito no capítulo anterior, foram realizados diversos testes ao sistema. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no carregamento de uma bateria de lítio com base no algoritmo apresentado na figura 4.25. São também apresentados os testes realizados após implementação de um controlo proporcional integral para carregamento. Por fim, apresentam-se os testes efetuados ao *setup* de simulação de doca universal de carregamento salientando o interface entre a PCB e a aplicação desenvolvidas.

5.1 Teste 1 - Ajuste direto da variável de controlo

O teste 1 consiste na implementação do algoritmo referenciado na figura 4.25 de forma direta, ou seja, aumentar ou diminuir o valor do *duty cycle* consoante a leitura dos valores de tensão e corrente e verificando as condições de mudança/paragem. A atualização do *duty cycle* foi feita em *steps* de 1 % havendo limitação para que este valor se situe entre os 0 e os 95% caso o sistema se torne instável. Os gráficos seguintes representam um trecho de

carregamento com referência de corrente em torno de 1 A e onde se visualiza o momento em que o algoritmo comuta de CC para CV. No gráfico da figura 5.1 é apresentada a forma de onda da corrente que flui para a bateria. Salienta-se no ultimo terço do gráfico uma instabilidade maior na corrente devido à permutação para o modo CV. Pelo gráfico da figura 5.2 obtém-se a forma de onda da tensão medida aos terminais da bateria onde se verifica que esta tende a aumentar ao longo do tempo como é esperado. Como referido para a análise da corrente, a forma de onda da tensão também apresenta algumas oscilações traduzindo alguma instabilidade ao sistema. Na fase final, observa-se também uma maior instabilidade e conseqüentemente um pico mais acentuado na tensão para um valor fora do limite de tensão aos terminais da bateria o que originou a paragem do carregamento pelo sistema.

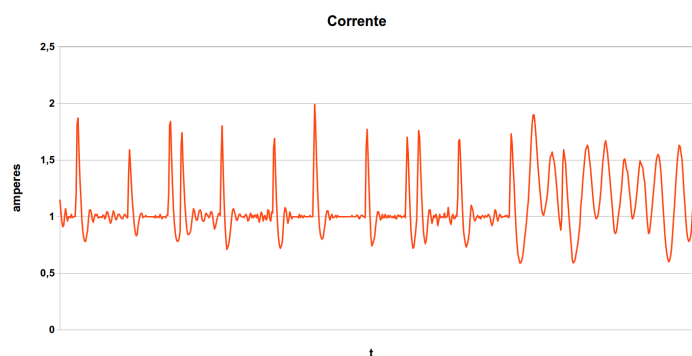


Figura 5.1: Forma de onda da corrente durante o carregamento

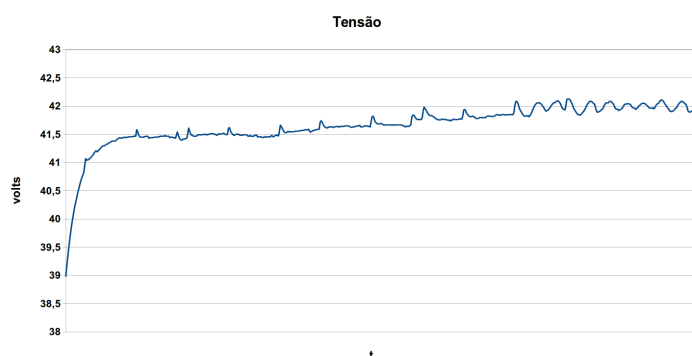


Figura 5.2: Forma de onda da tensão durante o carregamento

5.2 Teste 2 - Melhorias ao ajuste direto da variável de controlo

O teste 2 consiste na implementação do algoritmo de carregamento da figura 4.25 mas com alguns melhoramentos de forma a obter uma maior estabilidade no sistema. A referência de corrente de carregamento foi mantida em 1 A e as condições de carga da bateria foram semelhantes ao cenário anterior. Tal como referido, este teste baseia-se de igual forma em diminuir e aumentar o *duty cycle* do circuito de carregamento consoante a leitura da corrente e tensão no sistema. A variação deste parâmetro é feita em *steps* de 0.1% para obter uma maior estabilidade na variação dos valores de corrente e tensão. Por forma a minimizar as oscilações dos valores das grandezas de leitura foi implementada uma estratégia de ponderação nas leituras instantâneas face ao valor da leitura anterior, o que se traduz assim numa maior estabilidade no sistema. Para tal, assume-se que a leitura atual tem um peso de 20% para o valor final calculado das grandezas em questão, sendo os restantes 80% referentes às ponderações acumuladas de leituras anteriores.

A permuta de estado no algoritmo de carregamento do modo CC/CV acontece de forma mais estável devido à estratégia de permanência em modo CC durante 100 amostras consecutivas na leitura de valores de tensão iguais ou superiores ao valor de tensão de referência. Desta forma garante-se que a transição de modo não é resultado de uma possível medição errada. Para o término do carregamento é adotado a mesma estratégia referida anteriormente. Ou seja, o término de carregamento é dado pela leitura consecutiva de valores de corrente inferiores ao valor de referência.

Os gráficos seguintes representam um trecho de carregamento onde se pretendem evidenciar as considerações descritas. Na figura 5.3 é apresentada a forma de onda da variação da corrente ponderada (I) em função da corrente instantânea medida (I_i). A figura 5.4 representa a forma de onda da variação

5.2. Teste 2 - Melhorias ao ajuste direto da variável de controlo *Capítulo 5*

tensão ponderada (V) e tensão medida instantaneamente (V_i). Evidencia-se a transição de modo CC para modo CV de forma suave sem haver quaisquer picos de corrente e tensão mantendo a mesma oscilação nos dois modos.

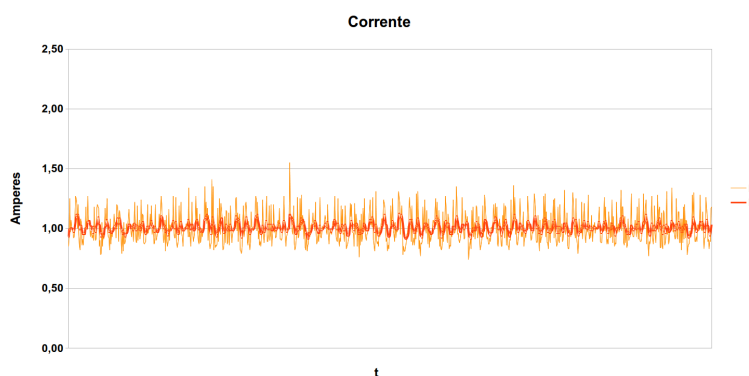


Figura 5.3: Forma de onda da corrente calculada e corrente instantânea

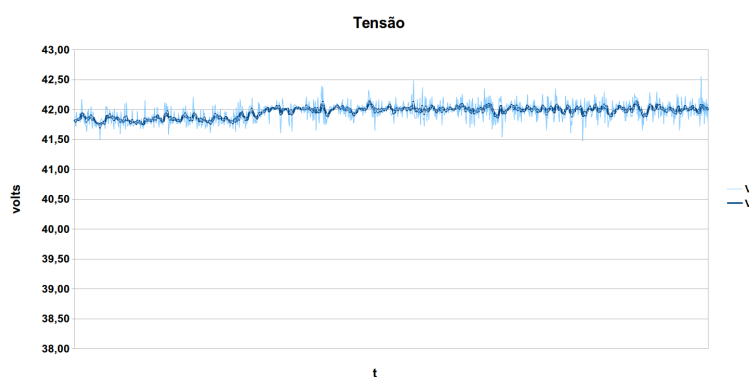


Figura 5.4: Forma de onda da tensão calculada e tensão instantânea

Na figura 5.5 é apresentado o comportamento da corrente e da tensão durante o carregamento da bateria. Foi fixado o valor de referência de corrente de carregamento em 1 A para a realização do teste e as condições de carga da bateria semelhantes ao cenário anterior. É notório pela representação gráfica a comutação entre os estágios de carregamento e a permanência da tensão na bateria em torno do valor de referência de 42 V. A corrente de carregamento vai diminuindo ao longo do tempo até que seja atingido o mínimo

considerado de 0.02 A, momento no qual é terminado o carregamento. No estágio em modo CV a forma de onda da corrente apresenta uma oscilação mais acentuada devido ao facto de que o controlo neste modo passe por fixar a tensão num valor de referência.

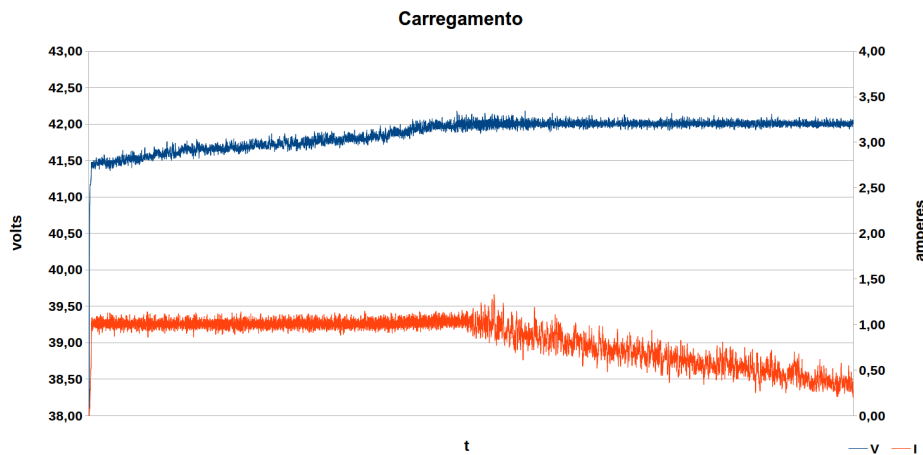


Figura 5.5: Tensão e corrente ao longo do carregamento de uma bateria

5.3 Teste 3 - Controlador proporcional

O teste 3 foi efetuado para testar outra estratégia de controlo baseando-se esta num controlador proporcional. Um controlador proporcional é um mecanismo de controlo em *loop* que calcula continuamente o valor de erro entre o valor da saída e um valor de referência aplicando uma correção proporcional de forma precisa e responsiva a uma função de controlo [61].

Todas as melhorias referenciadas no teste 2 foram mantidas e baseia-se de igual forma no controlo de carregamento CC/CV. Contrariamente ao implementado anteriormente nos testes 1 e 2 para o cálculo da variável de controlo, neste caso, esta variável passa a ser calculada de acordo com a equação 5.1. O cálculo de erro é gerado de duas formas independentes, através de valores de corrente ou de valores de tensão, dependendo do estágio em que o algoritmo

se encontre (CC ou CV). Este valor de erro calculado é multiplicado por um ganho, valor constante e devidamente ajustado para que os valores de corrente e tensão desejados sejam alcançados. A expressão matemática 5.1 representa o cálculo da variável de *controle* em função da grandeza desejada, corrente ou tensão, assumindo diferentes valores para os dois estágios.

$$\text{controle} = K_p * \text{erro} \quad (5.1)$$

Onde:

K_p : *Constante Proporcional*

erro : (*Valor desejado – Valor medido*)

Neste teste a corrente de carregamento foi definida para 2 A sendo que os valores do ganho foram ajustados para que a resposta do sistema seja o mais estável possível. Na figura 5.6 é representada a forma de onda da corrente no estágio inicial de carregamento para diferentes valores de K_p . Pela análise dos dois gráficos verifica-se que a melhor aproximação ao valor de corrente é para uma constante com o valor de 100, pois apresenta um menor pico inicial. De notar que o valor de corrente pretendido não é atingido devido ao controlador proporcional gerar um *offset* abaixo do valor desejado.

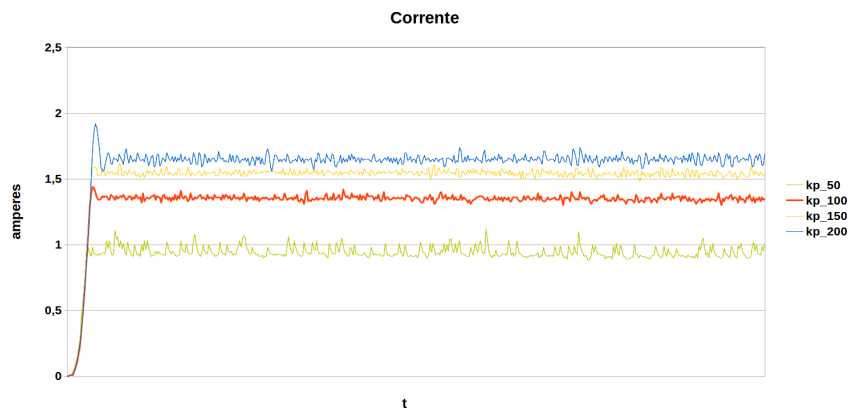


Figura 5.6: Forma de onda da corrente para diferentes valores de ganho do controlador proporcional

Na figura 5.7 é representada a forma de onda da tensão no momento em que o algoritmo permuta do estágio CC para o estágio CV com diferentes valores K_p . À semelhança do que acontece com as formas de onda da corrente, o controlador proporcional impõe que a tensão caía para um valor abaixo do desejado. A escolha do valor de ganho foi numa grandeza de 100 para a constante K_p , valor para o qual o sistema apresenta menor oscilação melhorando a sua resposta e estabilidade.

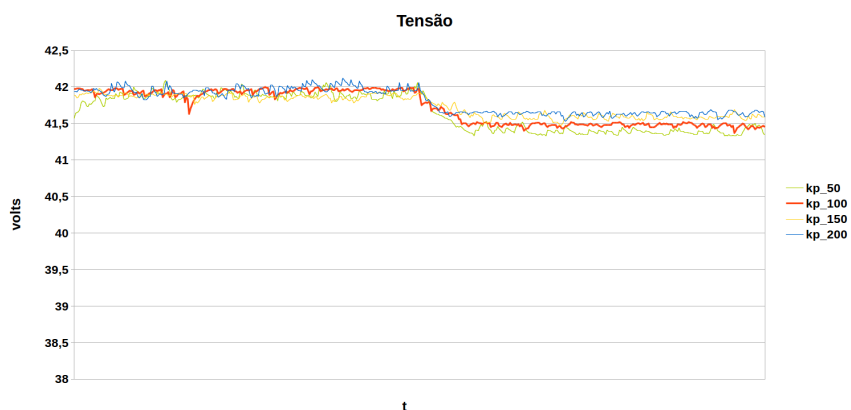


Figura 5.7: Forma de onda da tensão para diferentes valores de ganho do controlador proporcional

5.4 Teste 4 - Controlador proporcional integral

O teste 4 consiste na implementação de um controlador proporcional integral com vista a mitigar as desvantagens verificadas pelo teste anterior. A ação integral neste controlador proporciona a adição de uma acumulação de erro, ou seja, compensar o *offset* gerado pelo controlador proporcional [61]. Este teste baseou-se em adicionar a componente referida na expressão matemática 5.2 para cálculo da variável de *controlo* em função das medições de corrente e tensão.

$$\text{controlo} = (K_p * \text{erro}) + (K_i * \text{erro_acumulado} * dt) \quad (5.2)$$

Onde:

K_p : *Constante Proporcional*

K_i : *Constante Integral*

erro : (*Valor desejado – Valor medido*)

erro_acumulado : (*erro_acumulado anterior + erro*)

dt : *intervalo de tempo da amostra*

A referência de corrente de carregamento manteve-se em 2 A e o ganho proporcional em 100, variando somente o ganho integrativo. A figura 5.8 representa a forma de onda de corrente no momento inicial de carregamento onde se destaca o valor do ganho integrativo (K_i) em 5. Assume-se ser o melhor caso visto que apesar de pico inicial de corrente ser superior ao desejado, este estabiliza rapidamente em torno dos 2 A com uma oscilação relativamente pequena.

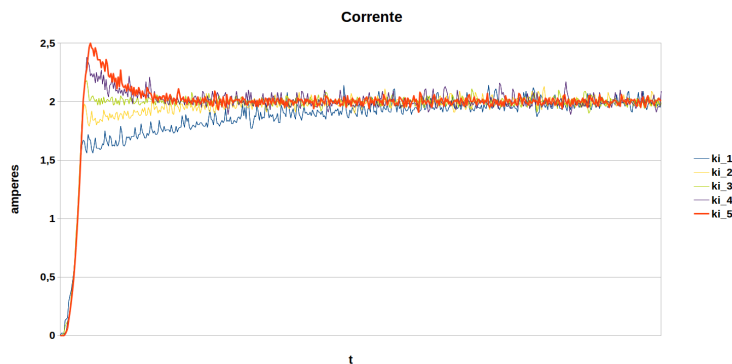


Figura 5.8: Forma de onda da corrente para diferentes valores de ganho integral do controlador

Na figura 5.9 é representada a forma de onda da tensão no momento em que o algoritmo permuta do estágio CC para o estágio CV com diferentes valores K_i . Neste caso, verifica-se uma quebra na tensão aos terminais da bateria no momento em que passa a ser feito o controlo em tensão.

O controlador entra rapidamente em compensação, ajustando os valores de *duty cycle* e elevando este valor até à referência pretendida.

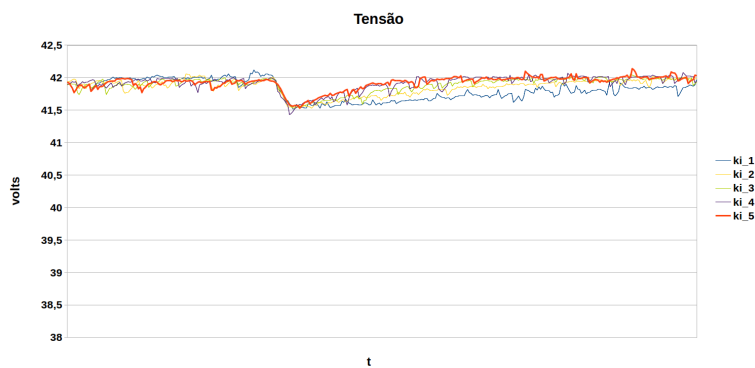


Figura 5.9: Forma de onda da tensão para diferentes valores de ganho integral do controlador

Na figura 5.10 é apresentado o comportamento da corrente e da tensão durante o carregamento da bateria. É notório pela representação gráfica a

comutação entre os estágios de carregamento e a permanência da tensão na bateria em torno dos 42V DC após entrada em modo CV. Salienta-se o facto de este teste ter sido realizado com a bateria muito próximo da sua capacidade máxima de carga. Como referido anteriormente, no início do processo de carga existe um pico de corrente que rapidamente estabiliza em torno do valor de referência. A corrente apresenta uma oscilação suave enquanto permanece no modo de corrente constante. Após comutação para o estágio de tensão constante é notório que a oscilação na forma de onda da corrente é maior. A oscilação na forma de onda da tensão mantém-se ao longo do carregamento.

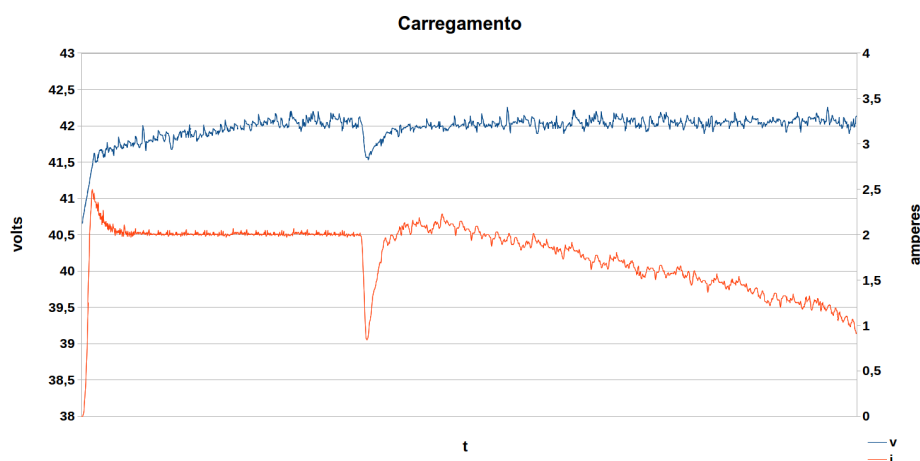


Figura 5.10: Tensão e corrente ao longo do carregamento de uma bateria com controlador proporcional integrativo

5.5 Teste 5 - Validação funcional do sistema

O teste 5 permite validar o funcionamento do sistema na vertente de doca para estacionamento e carregamento do sistema de uma doca universal. Este teste permitiu verificar o correto funcionamento da implementação dos módulos de interface com a doca, nomeadamente a leitura de *switches*, a atu-

ação de *buzzer*, atuação de iluminação de interface e fazer o controlo de carregamento. A figura 5.11 apresenta o *setup* de testes de bancada onde se visualiza o conjunto de PCBs desenvolvidos e uma bateria de lítio utilizada em bicicletas elétricas. Visualiza-se também os *switches* usados para detetar o vandalismo às capas frontais da doca e deteção da posição de cabo de aço de trancamento bem como os servomotores utilizados para trancamento dos cabos de aço para parqueamento das bicicletas. Evidencia-se um conjunto de LEDs de iluminação que serve de interface aos utilizador para reportar o estado da doca universal, nomeadamente o estado de disponibilidade, trancamento e carregamento.

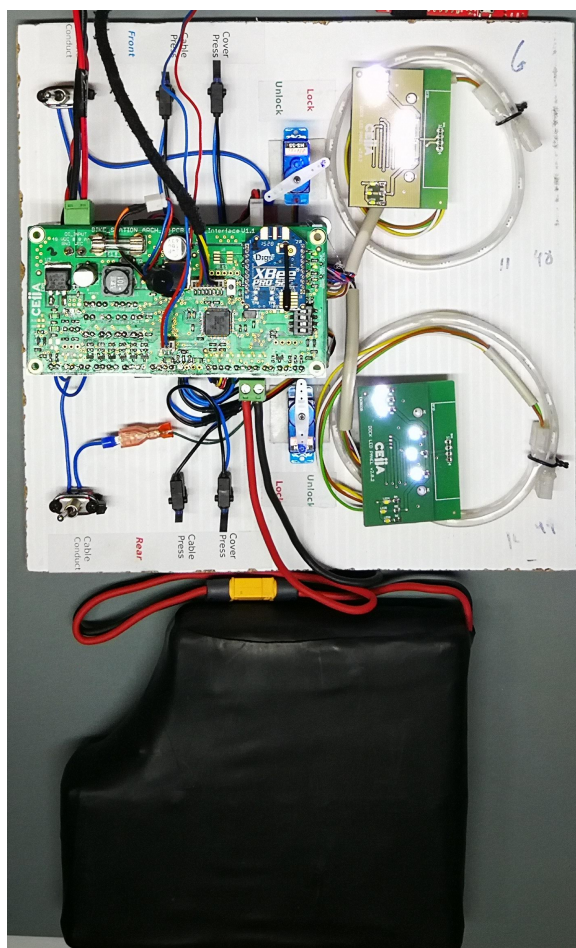


Figura 5.11: *Setup* de testes em bancada

Na figura 5.12 pode-se visualizar a interface gráfica num modo de *debug* no qual permite o controlo independente dos componentes instalados na doca.

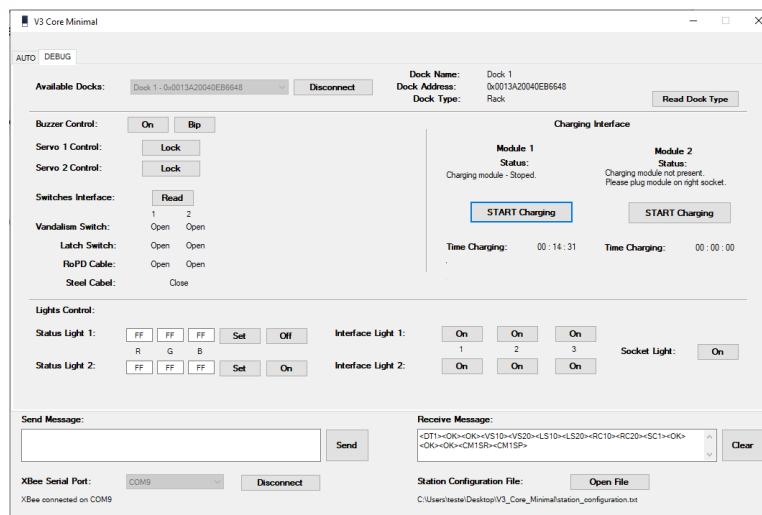


Figura 5.12: *Layout* de *debug* da interface gráfica

Na figura 5.13 é apresentado uma consola de *debug* do lado da PCB de interface para as ações requeridas pela aplicação gráfica.

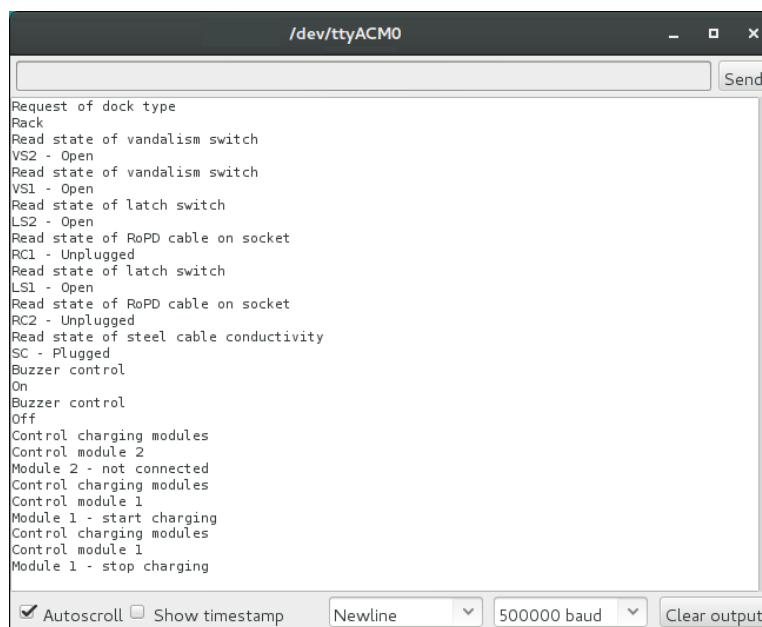


Figura 5.13: *Debug* do lado da PCB de interface

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo apresentam-se as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e algumas sugestões de trabalho futuro.

A mobilidade elétrica e a mobilidade partilhada são temas cada vez mais recorrentes. Existe atualmente uma enorme aposta em veículos eletricamente assistidos e de uso partilhado para a deslocação dentro das grandes cidades. Este investimento tem como finalidade colmatar os problemas gerados pelo aumento populacional e pela fraca infraestrutura de transportes públicos existente. Para isso, há a necessidade de criar infraestruturas que sustentem os veículos de transporte de uso partilhado, nomeadamente bicicletas elétricas.

A dissertação foi desenvolvida em parceria com o CEiiA, uma instituição que pretende inovar o conceito de mobilidade e que disponibiliza algumas soluções de veículos para transporte partilhado aliados a uma plataforma de gestão de frotas.

Inicialmente foi efetuado um estudo de uma arquitetura modular e adaptável que se enquadrasse com os requisitos funcionais sugeridos pelo CEiiA. Realizou-se um estudo de tipologias de baterias possíveis de instalar em bi-

cicletas elétricas bem como da forma de carregamento das mesmas, sendo dado maior ênfase às baterias de lítio. Foram desenvolvidas duas placas de circuito impresso que asseguram as funcionalidades de controlo, interface com os subsistemas dos produtos e interface com os utilizadores. De entre as funcionalidades implementadas, o foco desta dissertação assentou sobre a monitorização e gestão de carregamento de baterias. A placa de interface com a doca de carregamento de bicicletas é responsável por realizar a interação com todos os sensores e atuadores de forma a gerir localmente todos estes periféricos. A placa de carregamento de bicicletas elétricas é responsável por albergar todos os componentes eletrónicos necessários à conversão de potência para carregamento. Por fim, foi também desenvolvida uma interface gráfica de forma a facilitar a monitorização e controlo do sistema.

Relativamente aos resultados obtidos, apresentados no capítulo 5, é notório que a implementação do algoritmo geral de controlo cumpriu com o esperado possibilitando assim o carregamento de uma bateria. Com a implementação de um algoritmo de controlo em malha fechada comprovou-se a funcionalidade do protótipo, apesar de serem observadas algumas variações nas grandezas impostas à bateria. A implementação de um controlador proporcional integral surgiu como alternativa para tentar mitigar os problemas constatados anteriormente. Este controlo cumpriu de igual forma com a função de carregamento de baterias contudo, as oscilações descritas no controlo anterior continuam a verificar-se.

Independentemente do tipo de controlo implementado, existem melhorias que podem ser tomadas em consideração, nomeadamente o método de medição de corrente e tensão. Como trabalho futuro sugere-se uma possível inclusão de sensores de medição destas grandezas de forma a obter valores mais fidedignos. Ainda em relação ao *hardware* de carregamento, sugere-se também uma definição de estratégias de filtragem no ponto de ligação à bateria, tentando assim reduzir os índices de oscilação verificados. A nível de

firmware sugere-se a melhoria e ajuste dos parâmetros do controlador proporcional integral. Poderá ainda ser feita a adição do parâmetro derivativo por forma a obter novos resultados para comparação com o comportamento verificado até então. No que diz respeito à interface gráfica sugere-se uma melhoria do seu *layout*. Um trabalho futuro a ter em consideração passa pela integração do sistema em todas as variantes de docas de forma a testar e validar as suas funcionalidades.

A oportunidade da realização desta dissertação em parceria com o CEiiA contribuiu para um forte crescimento pessoal e profissional. Contribuiu para a consolidação do conhecimento adquirido ao longo do percurso académico e permitiu desenvolver competências e ferramentas para a aquisição de novos conhecimentos. Em suma, deixo uma palavra de agradecimento a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão desta dissertação, que certamente é uma mais valia para a minha carreira profissional.

Página propositadamente deixada em branco.

Bibliografia

- [1] Carlos Henrique Ribeiro de Carvalho "MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: CONCEITOS, TENDÊNCIAS E REFLEXÕES". IPEA - Instituto de Pesquisa Económica Aplicada, 2016.
- [2] Mobilidade urbana. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mobilidade_urbana.
- [3] European Commission "Sustainable Urban Mobility: European Policy, Practice and Solutions". European Commission, 2017.
- [4] Mobilidade Urbana. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <http://autossustentavel.com/2017/09/mobilidade-urbana-pode-ser-sustentavel.html>
- [5] CEiiA website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.ceiaa.com/>
- [6] MOBI.E website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.mobie.pt/>
- [7] Bike Sharing System. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle-sharing_system.
- [8] Mobike - Sistema de partilha. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mobike>.

- [9] *Bike Sharing* estação. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.transportesenegocios.pt/lisboa-investe-29-milhoes-numa-rede-de-bike-sharing/>.
- [10] *Bike Sharing dockless*. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.fleeteurope.com/en/smart-mobility/europe/article/obike-rolls-out-dock-less-bike-sharing-10-more-european-countries?a=FJA05&t%5B0%5D=oBike&curl=1>.
- [11] *Bike Sharing* má utilização. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://sites.psu.edu/ist110pursel/2018/09/29/serious-disadvantages-and-problems-still-exist-in-the-bicycle-sharing-indust>
- [12] Mobi.Cascais website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.mobicascais.pt/>.
- [13] Cascais portal. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.cascais.pt/noticia/precos-reduzem-com-integracao-de-operadores-no-mobi-cascais>.
- [14] *Velib' Métropole* website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://www.velib-metropole.fr/en_GB/discover/service.
- [15] *Vélib' Métropole Bike Rentals*. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://europeforvisitors.com/paris/articles/paris-bike-rentals.htm>.
- [16] *Bike Sharing* Paris. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/09/04/velib-smovengo-promet-desormais-un-service-complet-debut-2019_5349771_3234.html.

- [17] *Bicing* website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.bicing.barcelona/es>.
- [18] *Public bicycle scheme*. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <http://ajuntament.barcelona.cat/bicicleta/en/services/public-bicycle-scheme>.
- [19] *Bike Sharing* Barcelona. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.thelocal.es/20150603/barcelona-most-bike-friendly-city-on-the-med>.
- [20] *Gira* website. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.gira-bicicletasdelisboa.pt/>.
- [21] Bicicletas partilhadas de Lisboa. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://shifter.sapo.pt/2017/07/lisboa-bike-sharing-bicicletas-partilhadas/>.
- [22] *Bike Sharing* Lisboa. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <http://lisboa.convida.pt/poi/see-do/gira-bicicletas-de-lisboa-10314/71>.
- [23] *Bike Sharing* Matosinhos. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.ceiia.com/single-post/2018/09/26/MATOSINHOS-ARRANCA-COM-PROJETO-DE-BIKE-SHARING-EM-PARCERIA-COM-O-CEIIA>.
- [24] *Revised EN 15194 E-Bike Safety Standard Implemented*. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://www.bike-eu.com/laws-regulations/nieuws/2017/11/revised-en-15194-e-bike-safety-standard-implemented-10132012?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.143478710.2024106525.1559645006-313072483.1559645006.

- [25] *Electric Bicycles Legislation*. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/presto_fact_sheet_legislation_en.pdf.
- [26] *Bikelec* - bicicletas elétricas. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <https://www.bikelec.pt/bicicletas-electricas-perguntas-frequentes>.
- [27] Carregador de bicicleta elétrica. Acedido em junho de 2019. Disponível em: <http://visualsurf.com.br/bicicletas/eletrica/carregador-bicicleta-eletrica-lithium-machine-motors-350w-36v.html>.
- [28] Bateria acido de chumbo. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries.
- [29] Carregamento bateria acido de chumbo. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_the_lead_acid_battery.
- [30] Bateria de níquel. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries.
- [31] Carregamento de bateria de níquel cádmio. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_based_batteries.
- [32] Carregamento de bateria de hidretos metálicos de níquel. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_metal_hydride.

- [33] Bateria de lítio. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries.
- [34] Carregamento de bateria de lítio. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_lithium_ion_batteries.
- [35] Conversores CC/CC. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter#Capacitive.
- [36] José Antenor Pomilio "Fontes Chaveadas". Publicação FEEC 13/95, 2005.
- [37] Nikolas Libert "Conversores CC/CC Buck e Boost". Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [38] Nikolas Libert "Conversor Buck-Boost". Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [39] Clovis Antonio Petry e Joabel Moia "Conversores CC-CC (Buck-Boost e Flyback)". Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.
- [40] Conversores Flyback. Acedido em junho de 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Flyback_converter.
- [41] Jose Formenti and Robert Martinez "DESIGN TRADE-OFFS FOR SWITCH-MODE BATTERY CHARGERS". Texas Instruments, 2004.
- [42] *Datasheet* Fonte de alimentação 12VDC. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576hv.pdf>.
- [43] *Datasheet* Fonte de alimentação 5VDC. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/41/4f/b3/b0/>

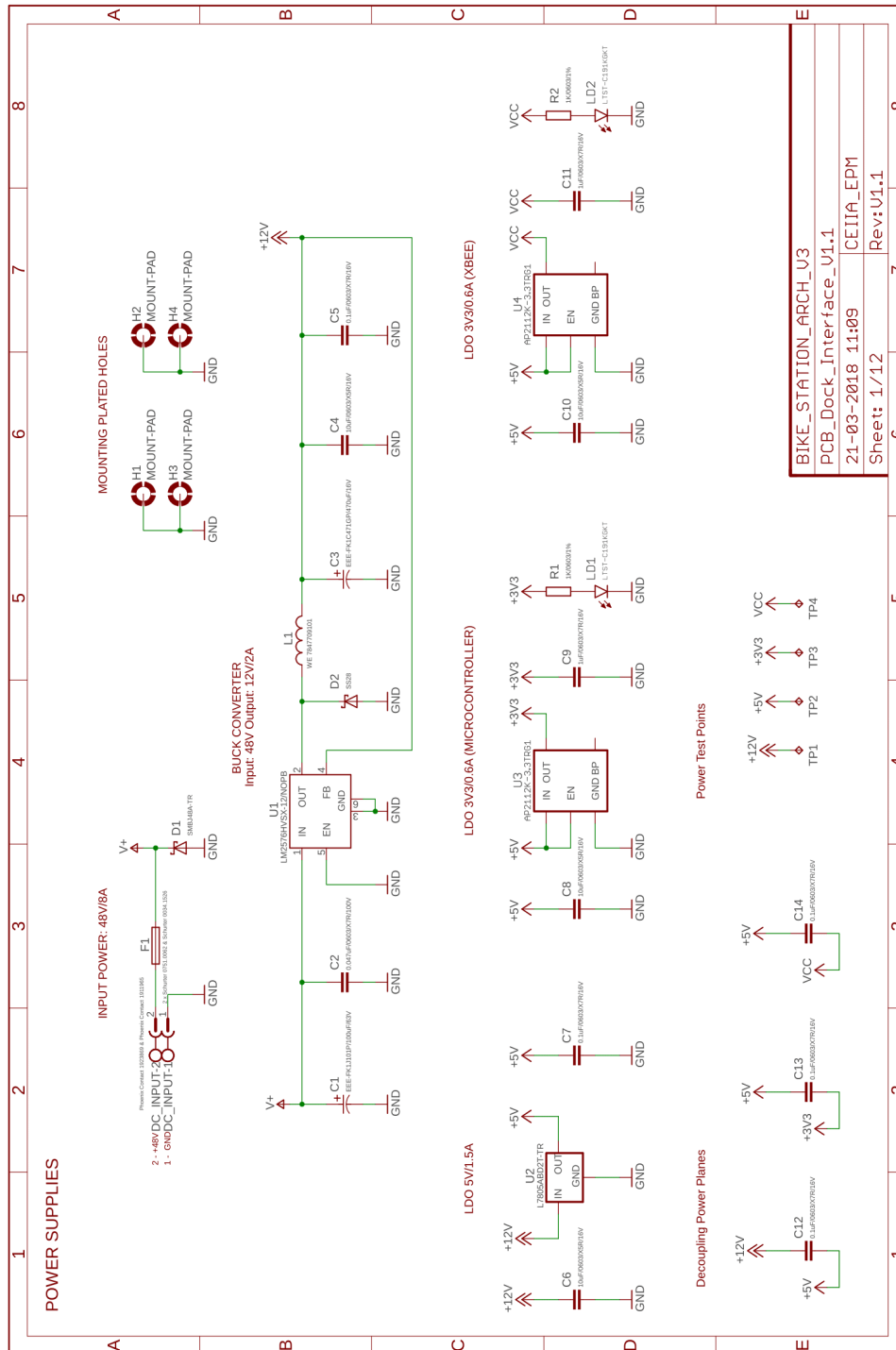
12/d4/47/88/CD00000444.pdf/files/CD00000444.pdf/jcr:
content/translations/en.CD00000444.pdf.

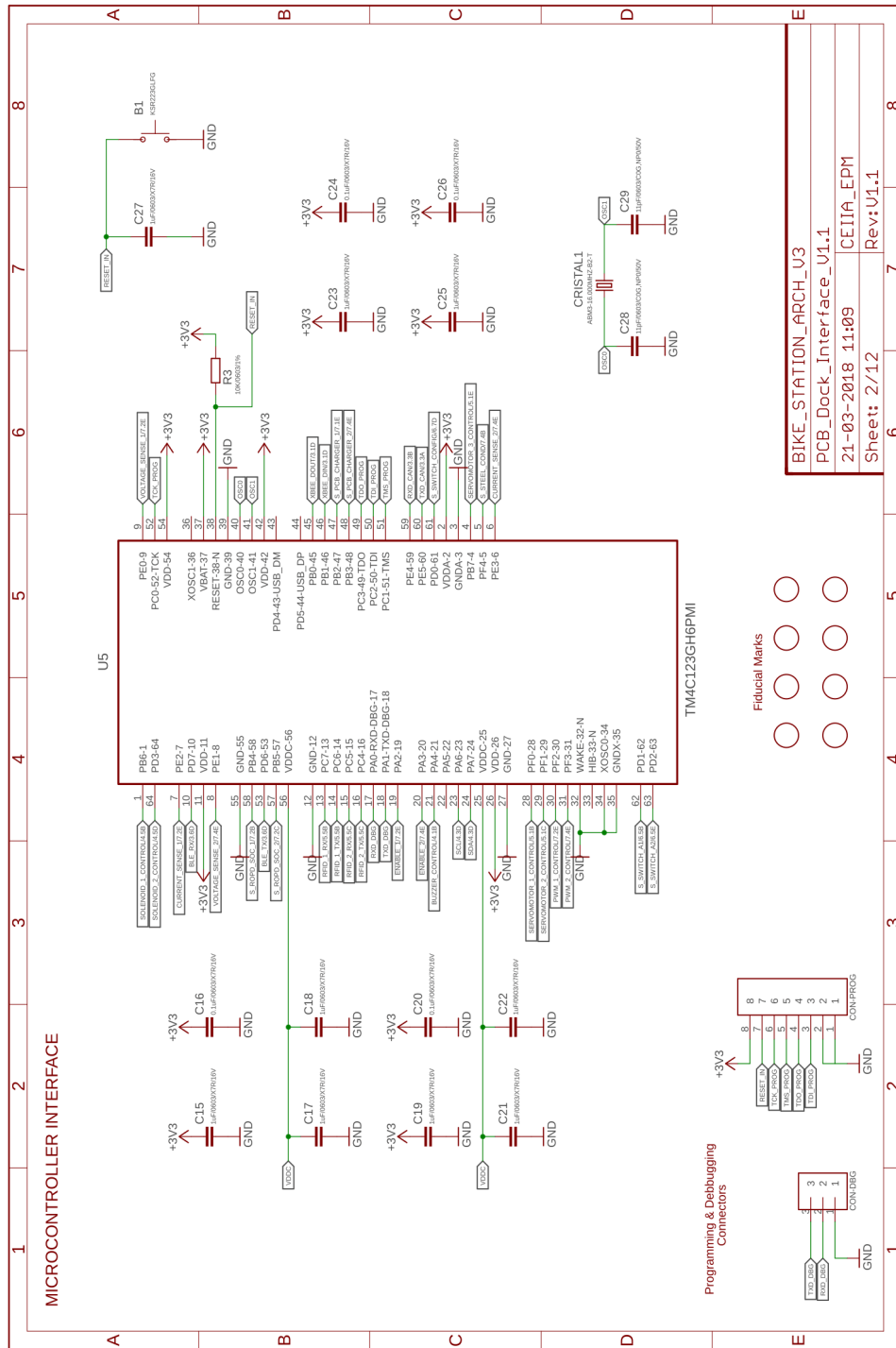
- [44] *Datasheet* Fonte de alimentação 3V3DC. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP2112.pdf>.
- [45] *Datasheet* Microcontrolador *Texas Instruments* TM4C123GH6PM. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c123gh6pm.pdf>.
- [46] *Datasheet Digi XBee S2C*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: https://www.digi.com/pdf/ds_s2c-xbeedigimesh-24.pdf.
- [47] Wiki *Digi XBee*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/XBee>.
- [48] *Datasheet level shifter ISO7221ADR*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/iso7220a.pdf>.
- [49] *Flyer* promocional dos sistema de conexão RoPD. Acedido em julho de 2019. Disponível em: https://www.rosenberger.com/0_documents/de/catalogs/ba_automotive/AUTO_RoPD_Flyer_2016.pdf.
- [50] *Datasheet transceiver CAN Infineon TLE6250*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE6250-DS-v04_00-EN.pdf?fileId=5546d46259d9a4bf015a3d3687956174.
- [51] *Datasheet* acelerómetro *NXP MMA8452Q*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8452Q.pdf.
- [52] Wiki I2C. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>.

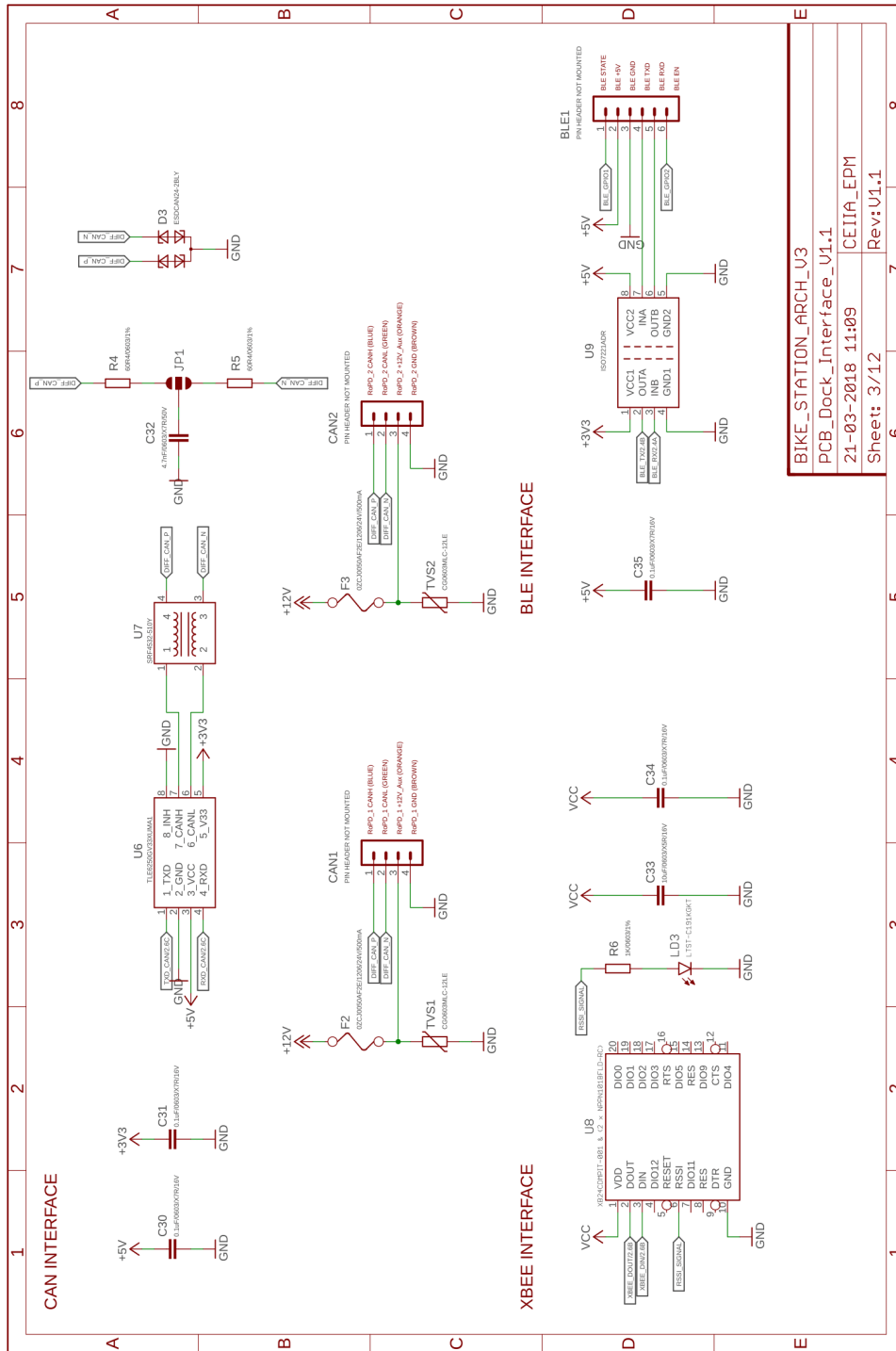
- [53] *Datasheet* RFID PN532. Acedido em julho de 2019. Disponível em: http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/PN532_module_V3/PN532_%20Manual_V3.pdf.
- [54] *Datasheet* LED driver PCA9685. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCA9685.pdf>.
- [55] *Datasheet driver* L6384E. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://pt.mouser.com/datasheet/2/389/16384e-974057.pdf>.
- [56] *TivaWare™ User's Guide*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ug/spmu298d/spmu298d.pdf>.
- [57] Wiki Linguagem *C*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/C_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/C_(programming_language)).
- [58] Wiki Linguagem *C++*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>.
- [59] Wiki *C#*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_(programming_language)).
- [60] Wiki *.Net*. Acedido em julho de 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Framework.
- [61] Wiki *PID Controller*. Acedido em agosto de 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.

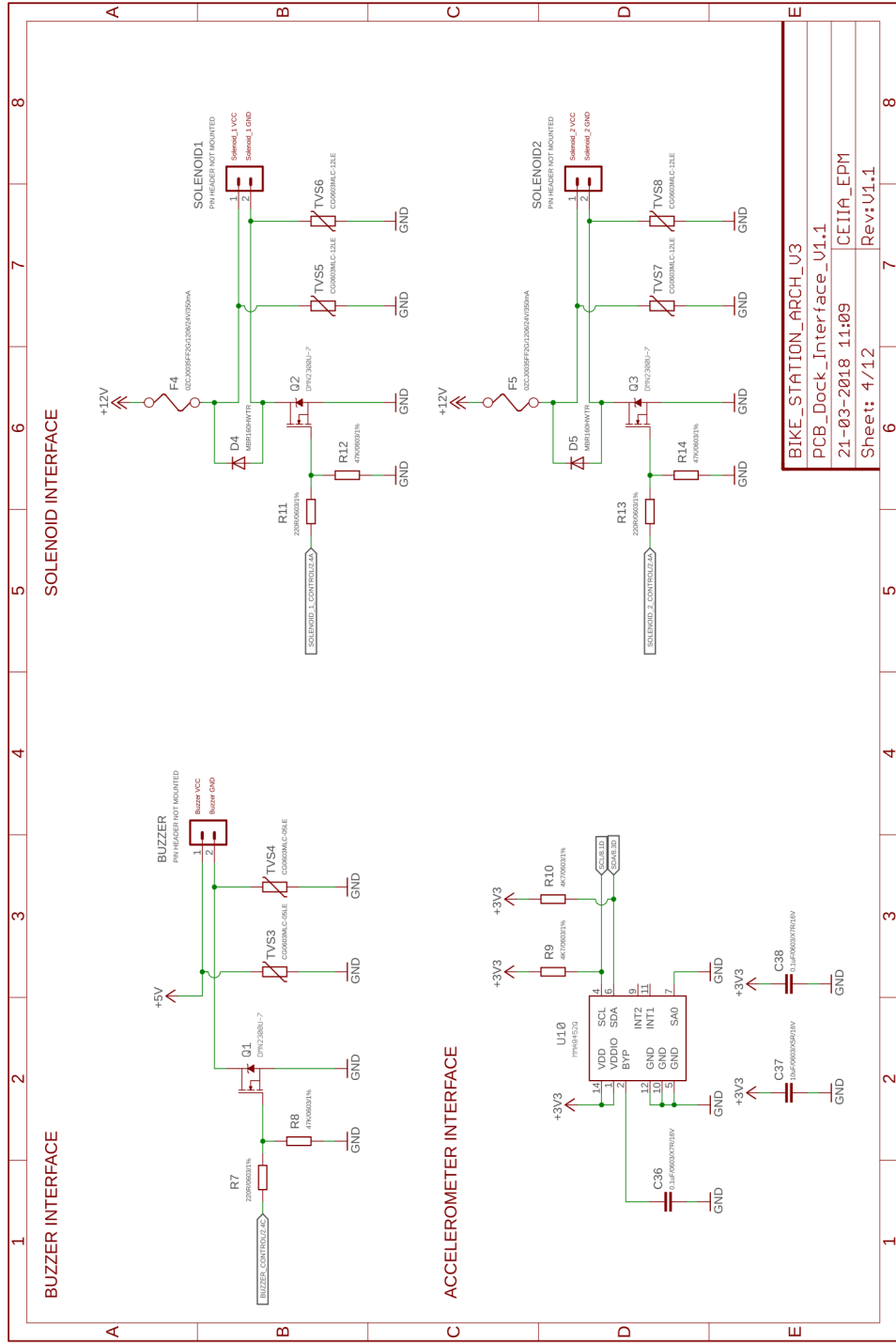
Página propositadamente deixada em branco.

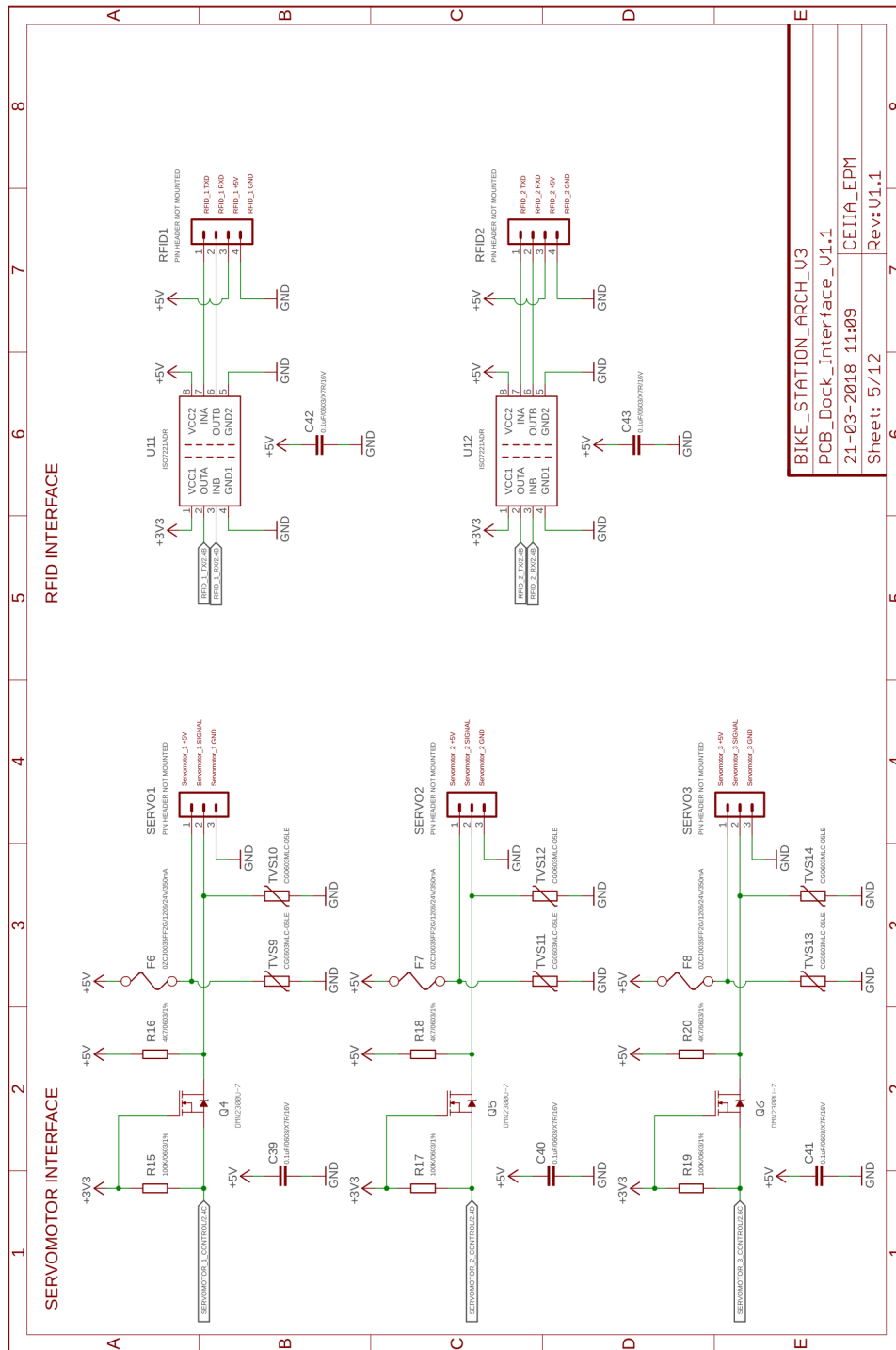
Anexo A. Esquemático PCB de interface



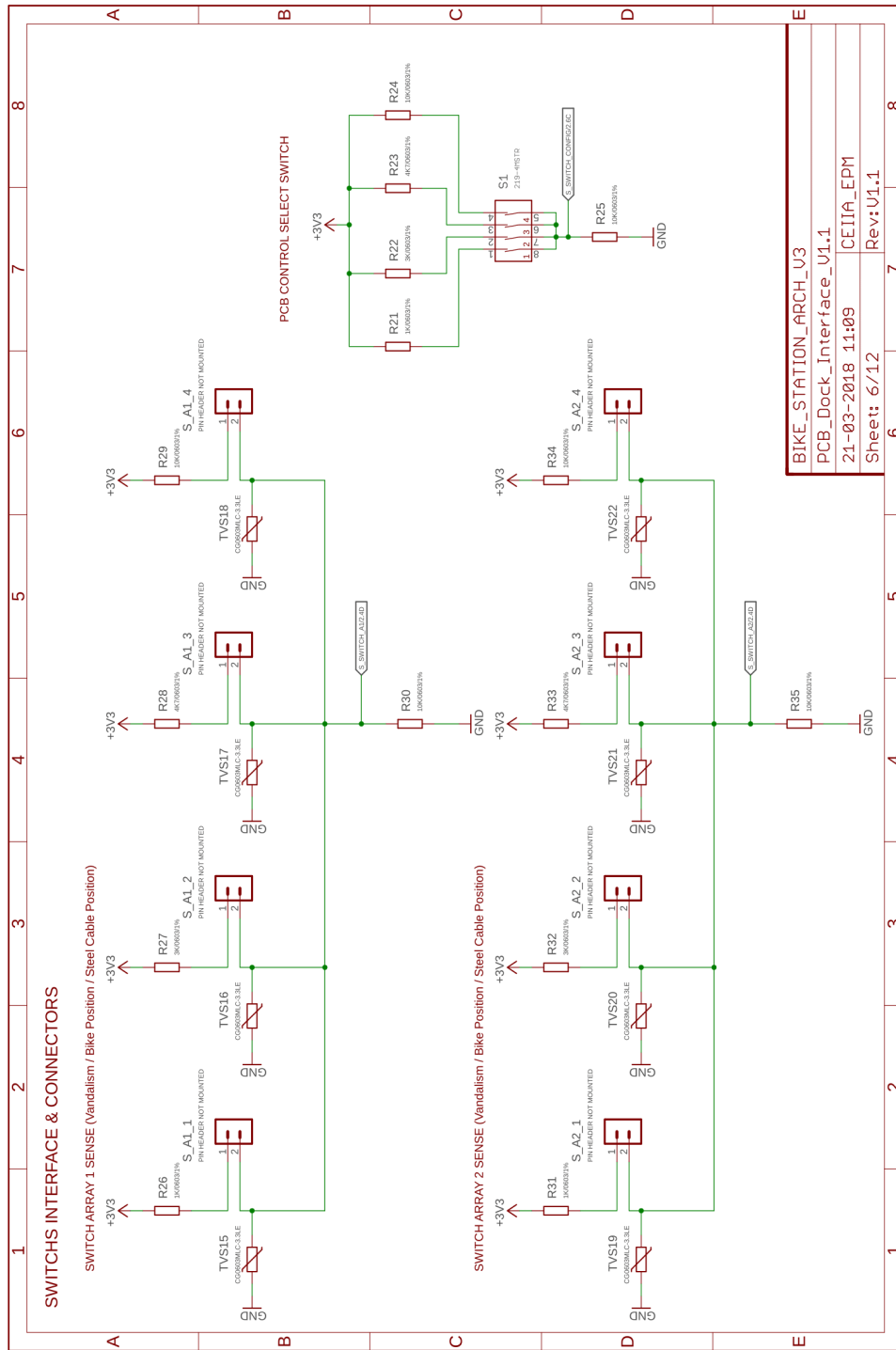




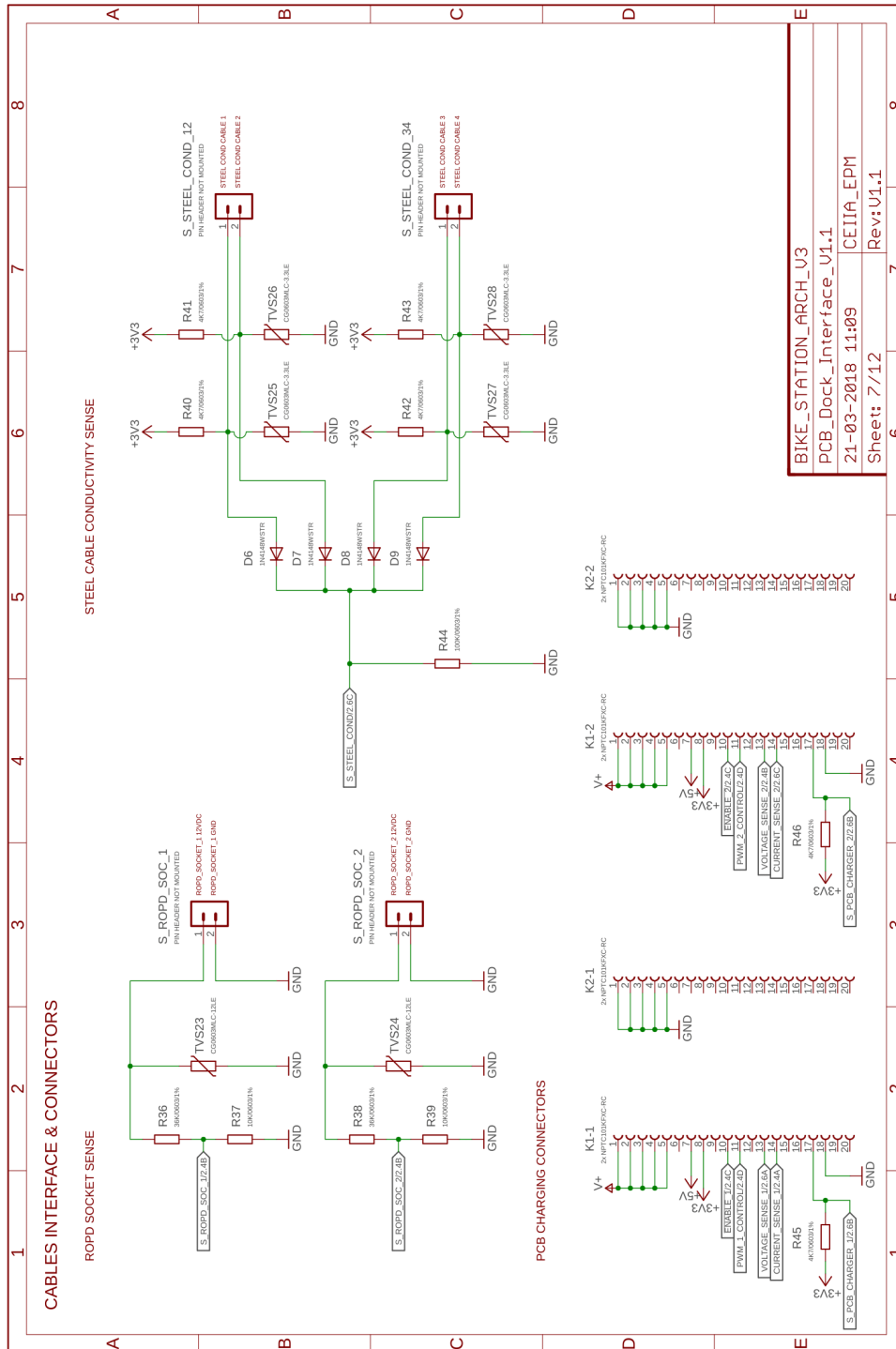


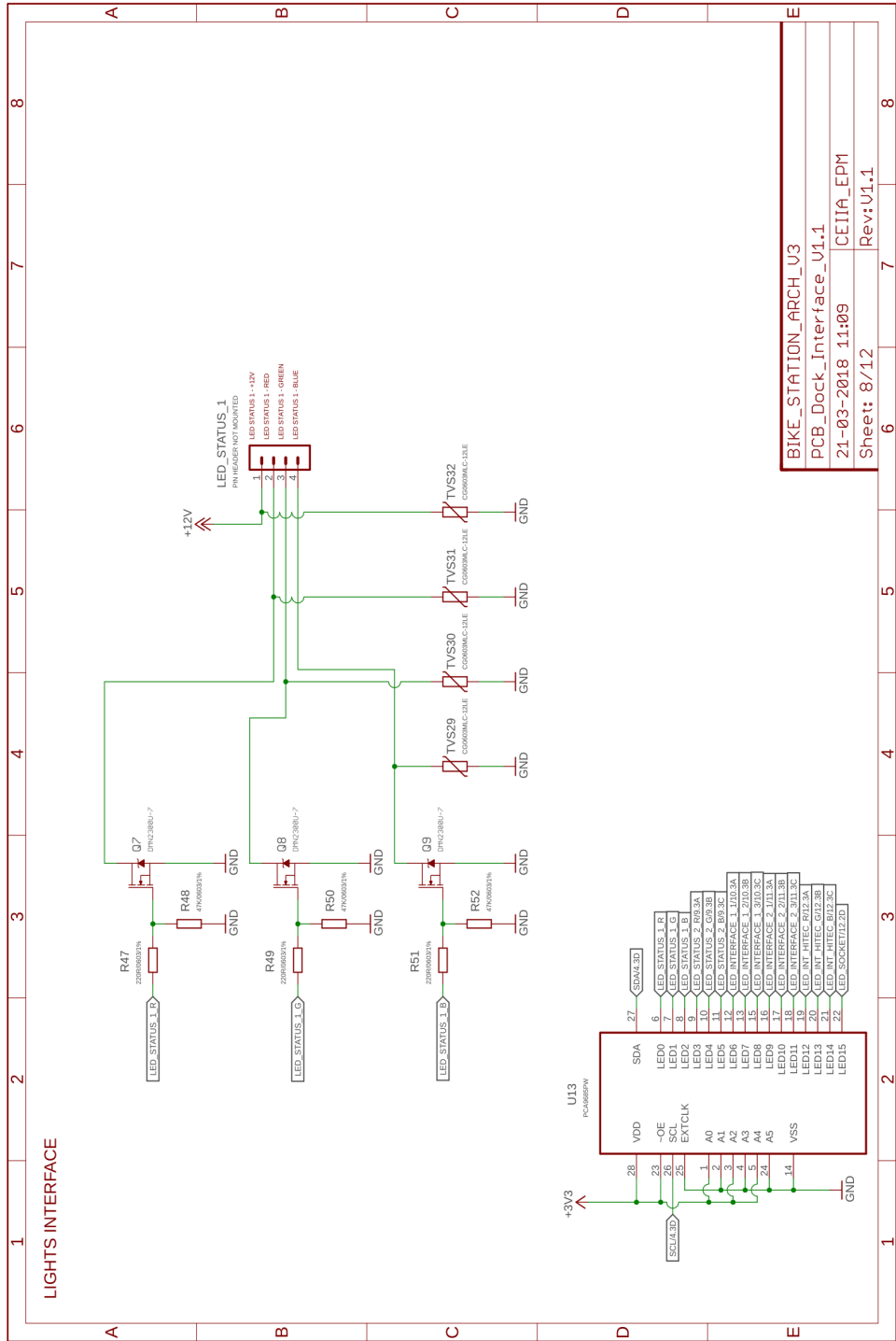


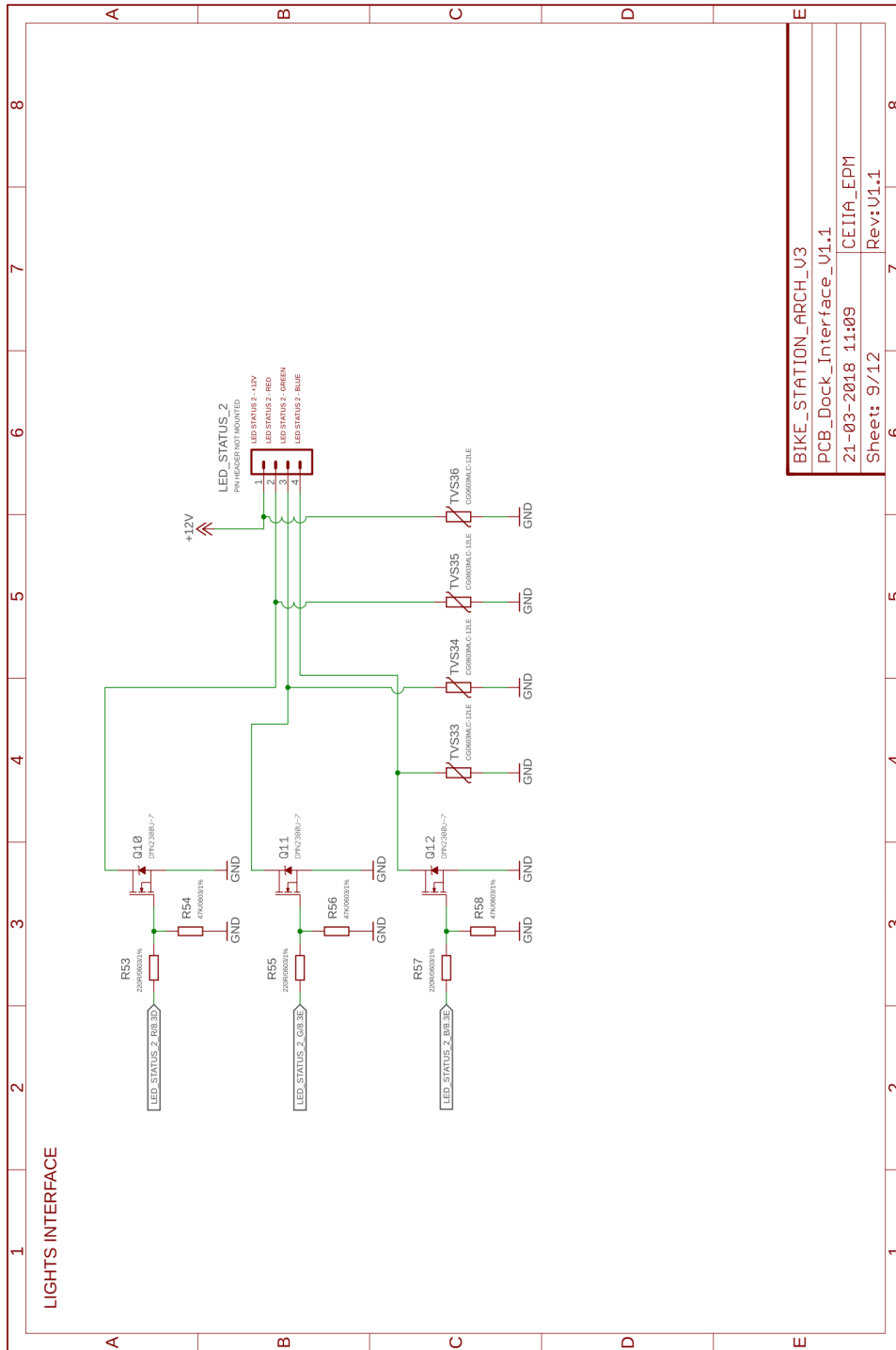
BIKE_STATION_ARCH_U3	7
PCB_Dock_Interface_V1.1	8
21-03-2018 11:09	6
CEIIA_EPM	7
Sheet: 5/12	7
Rev:U1.1	8



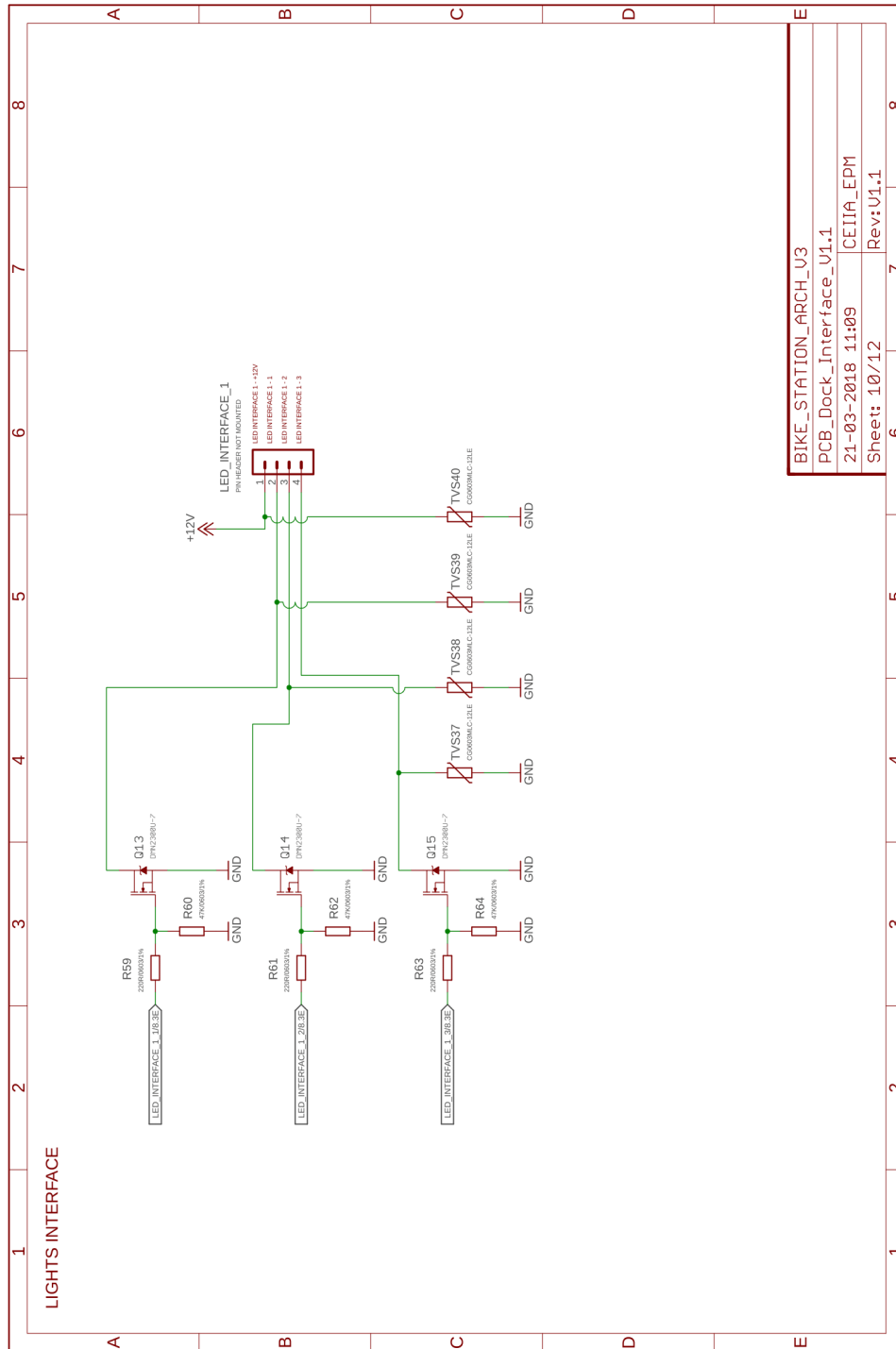
BIKE_STATION_ARCH_U3	8
PCB_Dock_Interface_U1.1	7
21-03-2018 11:09	6
CEIIA_EPM	5
Sheet: 6/12	4
Rev:U1.1	3
	2
	1



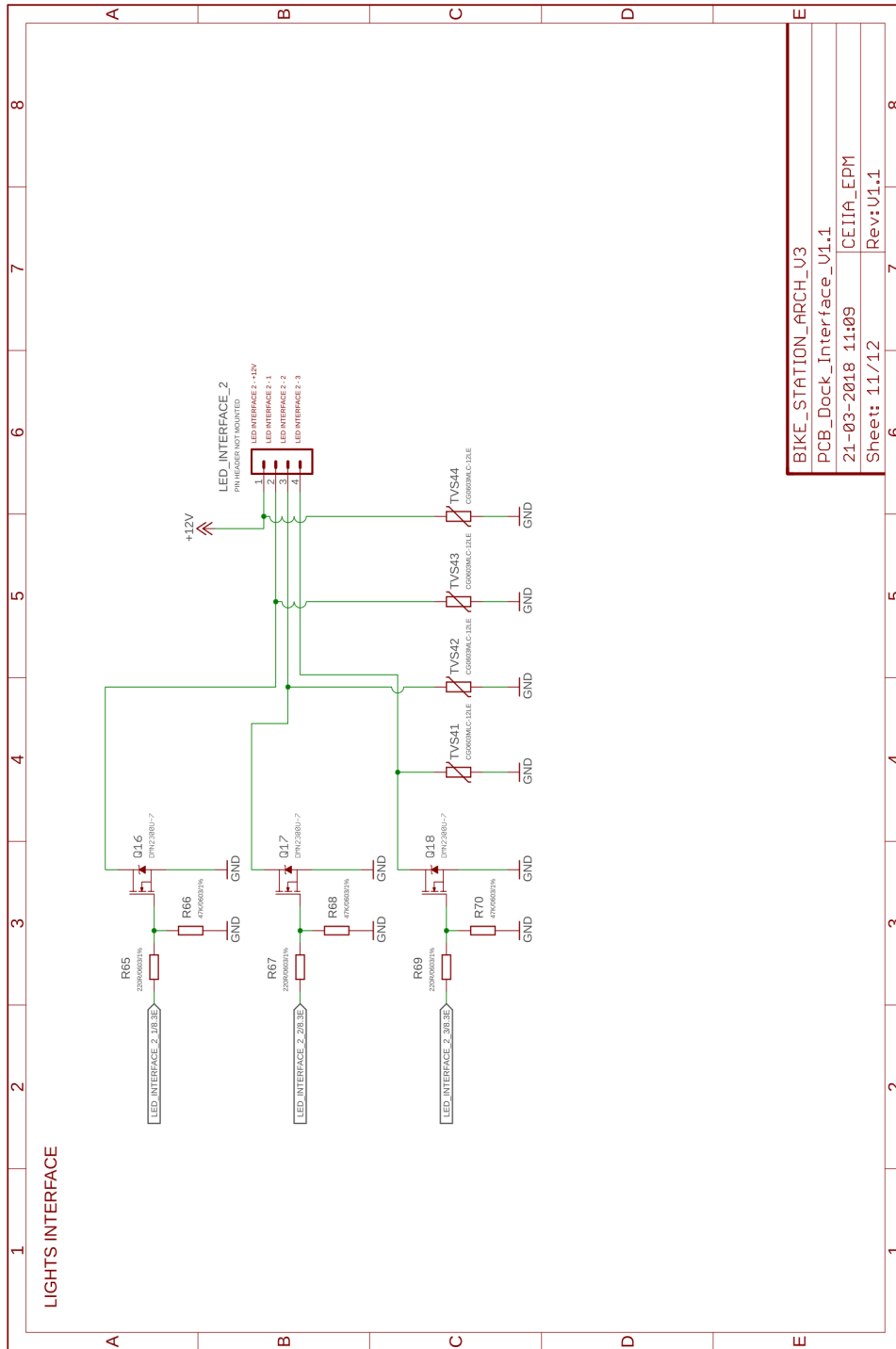




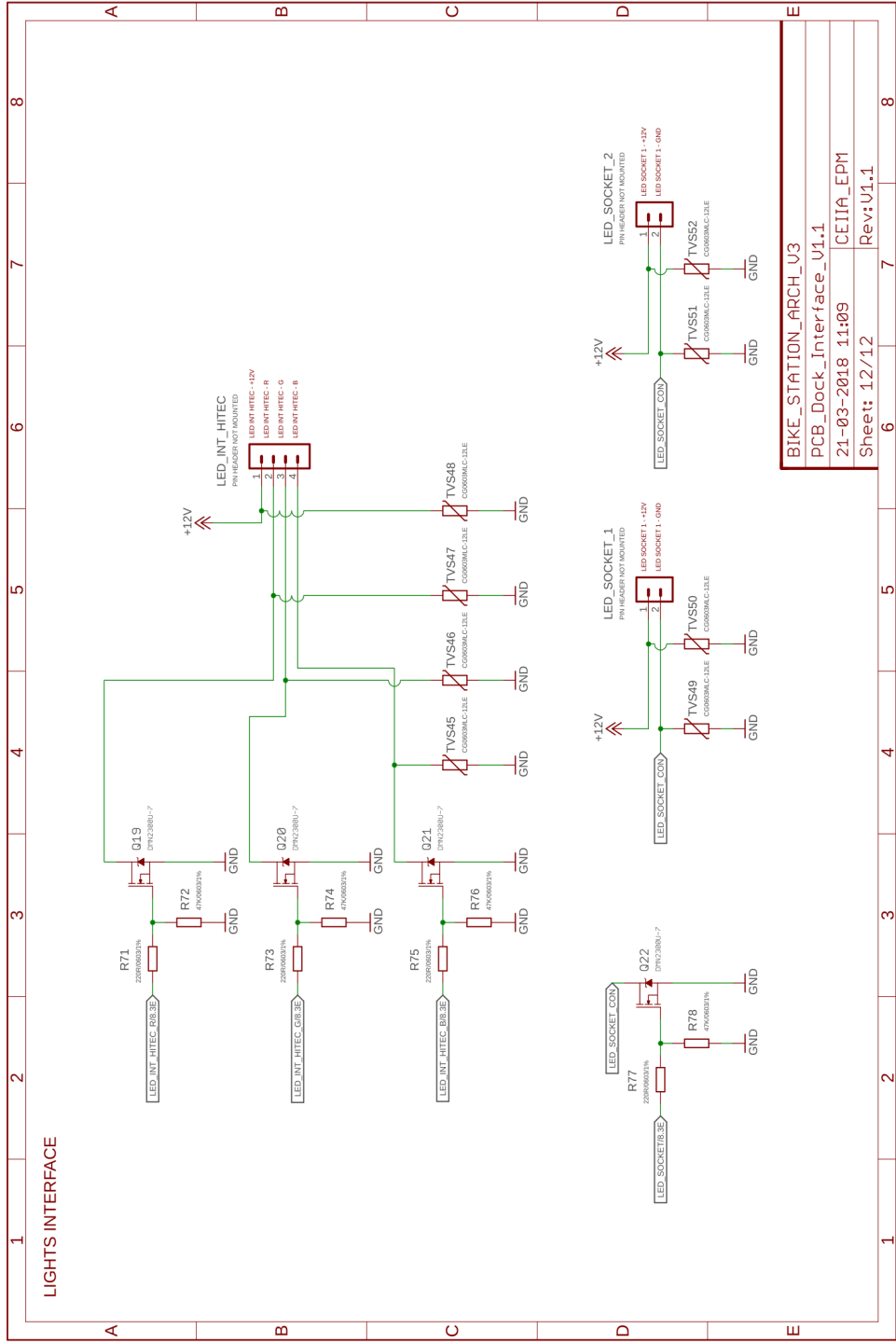
BIKE_STATION_ARCH_U3
PCB_Dock_Interface_V1.1
21-03-2018 11:09
CEIIA_EPM
Sheet: 9/12



BIKE_STATION_ARCH_V03	7	8
PCB_Dock_Interface_V01.1	6	7
21-03-2018 11:09	6	7
CEIIA_EPM	6	7
Sheet: 10/12	6	7
Rev:V01.1	6	7



BIKE_STATION_ARCH_U3	6	7	8
PCB_Dock_Interface_U1.1	6	7	8
21-03-2018 11:09	6	7	8
CEIIA_EPM	6	7	8
Sheet: 11/12	6	7	8
Rev: U1.1	6	7	8



BIKE_STATION_ARCH_V03	7	8
PCB_Dock_Interface_V1.1	7	8
21-03-2018 11:09	7	8
CEIIA_EPM	7	8
Sheet: 12/12	7	8
Rev: U1.1	7	8

Anexo B. *Layout* PCB de interface

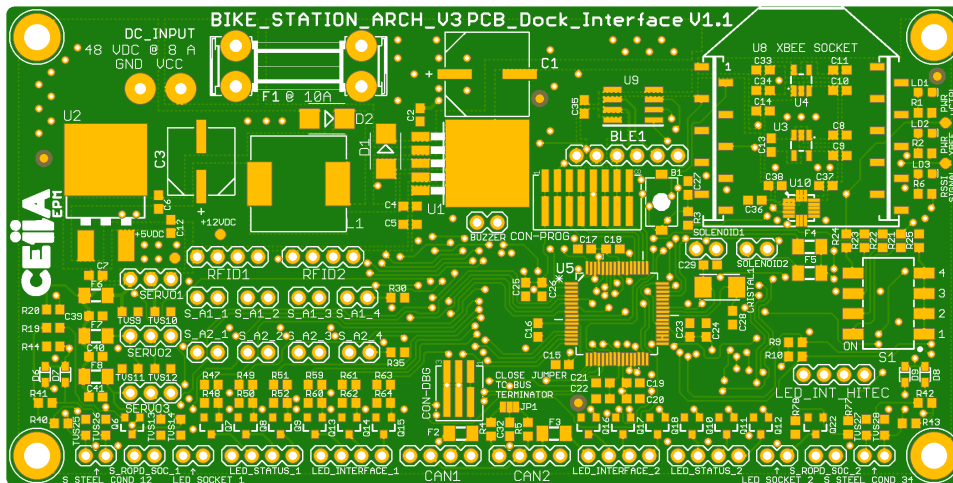


Figura 1: PCB de interface - Face superior

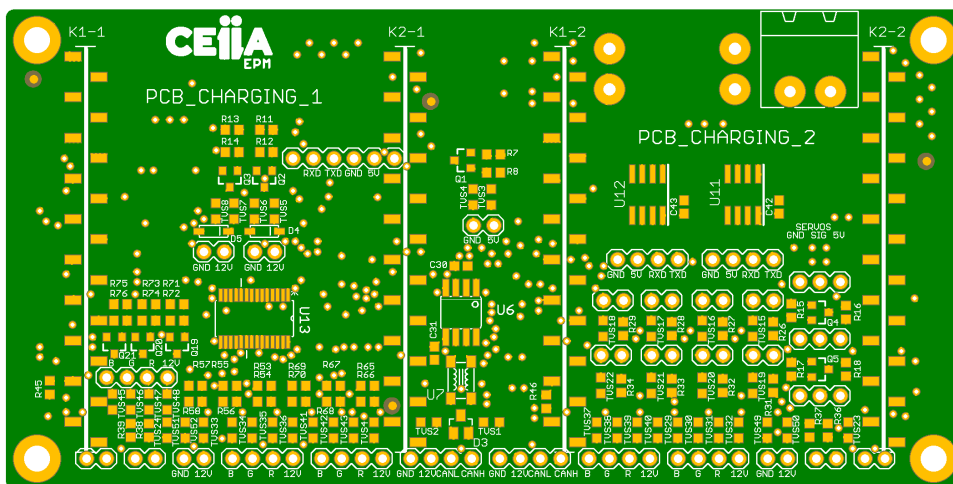


Figura 2: PCB de interface - Face inferior

Página propositadamente deixada em branco.

Página propositadamente deixada em branco.

Anexo D. *Layout* PCB de carregamento

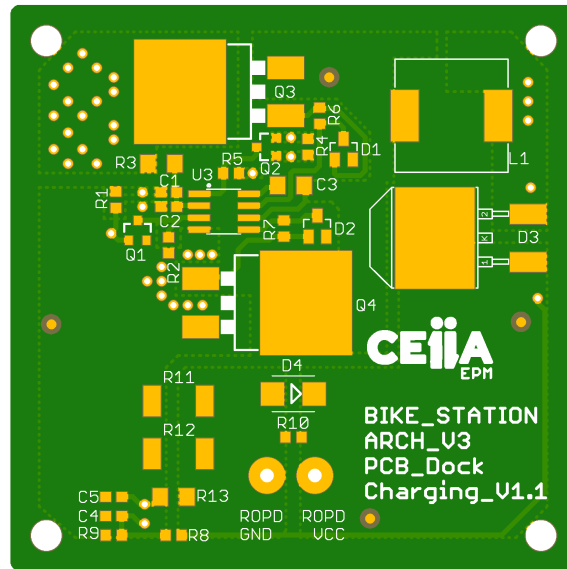


Figura 3: PCB de carregamento - Face superior

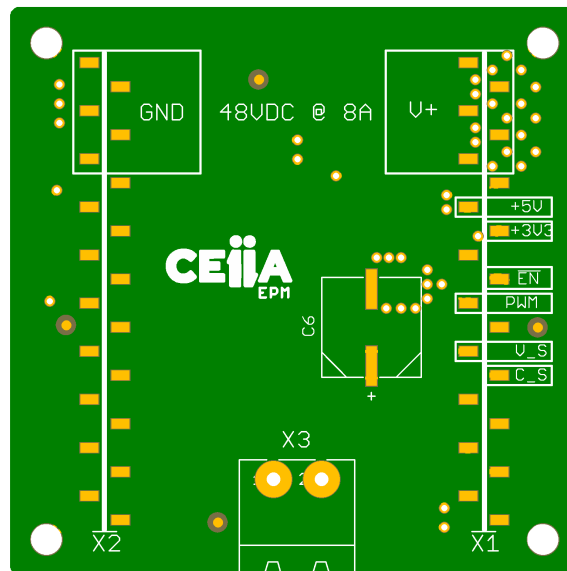


Figura 4: PCB de carregamento - Face inferior

Página propositadamente deixada em branco.