



Controlador Integrado Para Veículos Eléctricos Até 7kW AC Monofásico

ANDRÉ TIAGO ALVES SOUSA

novembro de 2021

CONTROLADOR INTEGRADO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS ATÉ 7kW AC MONOFÁSICO

DISSERTAÇÃO DO MEESEE

André Tiago Alves Sousa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: André Tiago Alves Sousa, Nº 1180363, 1180363@isep.ipp.pt

Orientação científica: Rui Brito, rmb@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

“The only place where success comes before work is in the dictionary”

Vince Lombardi

Agradecimentos

A elaboração da presente Dissertação de Mestrado e o percurso percorrido durante os últimos anos no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), foram para mim um enorme desafio que não teria sido possível concretizar sem a ajuda das pessoas que me rodeiam. Desta forma gostaria de expressar um sincero agradecimento:

Ao professor orientador Rui Brito, pela disponibilidade, conselhos e pelo apoio com alguns recursos que possibilitaram a concretização desta dissertação, principalmente neste que foi um ano tão difícil.

Aos meus colegas e amigos que tive o prazer de me cruzar no ISEP e sem os quais teria chegado até aqui, por isso deixo uma nota especial de agradecimento aos meus colegas João Antunes, Miguel Barbosa, Susana Alves, Henrique Fragoso e Fábio Cunha.

À Salto Systems Portugal, pela excelente empresa que é e por se ter disponibilizado para me apoiar no que fosse necessário. Como as empresas são feitas de pessoas, gostaria de deixar o meu especial agradecimento ao José Amorim, que se disponibilizou de imediato para me ajudar no que fosse necessário e ao meu colega Frederico Horta que me incentivou e ajudou ao longo de todo o processo.

À minha família e amigos por todo o incentivo, amizade e apoio contínuo ao longo de todo o meu percurso académico. De um modo especial deixo um agradecimento aos meus pais, Isabel e João, ao meu tio José e à minha namorada Daniela que permaneceram sempre ao meu lado, ajudando-me no que estivesse ao seu alcance. Sem eles, não teria sido possível!

A todos, um bem-haja.

Resumo

A sensibilização para com as alterações climáticas nos últimos anos tem levado investigadores, governos e cidadãos a procurar uma redução das emissões dos gases com efeito de estufa. Como possível alternativa para os veículos com motor de combustão interna, ressurgiram os veículos elétricos, que utilizam energia elétrica, através de fontes renováveis, como meio de locomoção. Contudo, uma das grandes desvantagens apontada ao veículo elétrico é o seu tempo de carga, face ao tempo de abastecimento de um veículo de combustão interna.

A presente proposta de dissertação assenta no desenvolvimento de um controlador de carga para veículos elétricos com um limite de potência de 7kW e que possa ser adaptado a contextos empresariais ou escolares, onde cada utilizador tem tipicamente o seu veículo estacionado durante cerca de 8 horas e nesse espaço temporal poderá colocá-lo a carregar. Desta forma o veículo fica completamente carregado no final do dia, evitando longos períodos de espera e ainda usufruir de tarifas mais atrativas do que em casa ou num posto de carregamento rápido.

Desta forma desenvolveu-se um protótipo baseado no protocolo de comunicação SAE J1772, através do qual e em função dos dados inseridos pelo utilizador, capacidade das baterias do veículo (kWh), percentagem atual da bateria (%) e o tempo em que o veículo estará em carregamento (h), o equipamento calcula a corrente mínima/ideal de forma que o veículo esteja completamente carregado ao custo mais baixo.

O protótipo desenvolvido disponibiliza de um leitor RFID para identificação do utilizador, um equipamento de medição de tensão, corrente e cálculo da energia fornecida e um *display* tátil, onde são inseridas e consultadas as informações relativas ao carregamento. O equipamento está conectado à internet para envio de um e-mail ao utilizador com o consumo energético e respetivo custo.

Palavras-Chave:

Veículo elétrico, carregadores AC, carregadores lento.

Abstract

The climate change awareness in the last years has bring researchers, governments and citizens investing in solutions to drastically reduce the greenhouse gases. As a possible alternative for internal combustion engines (ICE) the electric vehicles (EV) have resurfaced, because they can use electric energy, from renewable sources, as a way of locomotion. This new reality has led to some big investments from governments in a way to incentivize the purchasing of EVs. However, these vehicles still have a big drawback that is commonly pointed to them, which is the considerable time needed to get the battery full against the time needed to fil an ICE tank.

The proposal for the present dissertation, focuses on developing an electric vehicle supply equipment (EVSE) limited to 7kW and prepared to be used in business or school environments, where each user has his car usually parked for about 8 hours and during this time could let it charging. This way, the vehicle can be completely charged at the end of the day, avoiding long waiting periods and even take advantage of more attractive rates than in home or a fast charging station.

Hence, it was developed a prototype based on the SAE J1772 protocol, through which and in function of the data inserted by the user, EV battery capacity (kWh), current percentage of charge (%) and the time that the EV will be charging (h), the EVSE calculates the minimum/ideal electric current needed in a way that when the user come back it will be fully charged, at the lower cost.

The developed prototype is equipped with an RFID reader to identify the user, through the corporate/student credential, device to measure voltage, electric current, that are used to calculate the energy supplied to each user, and a touch display, in which the user inserts the data needed and can check, in real time, the charging data. The EVSE also has an internet connection, to send an e-mail to the user with his energy consumption and respective cost.

Keywords

Electric vehicle, AC chargers, EVSE, slow charger

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.OBJETIVOS	2
1.2.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1.INFRAESTRUTURAS DE CARREGAMENTO	5
2.1.1. Modos de Carregamento	7
2.1.2. Tipos de Conexões.....	9
2.1.3. Protocolos de Comunicação	13
2.2.SOLUÇÕES DE MERCADO – CONTROLADORES AC	17
2.2.1. Siemens- VersiCharge	17
2.2.2. Schneider- EVlink Smart Wallbox.....	19
2.2.3. Bosch- EV200.....	20
2.2.4. Wallbox- Commander 2	22
2.2.5. Comparação das Soluções de mercado.....	24
3. PROTOCOLO DE CARREGAMENTO	27
3.1.NORMALIZAÇÃO DOS EVSE	27
3.2.MODO DE CARREGAMENTO.....	30
3.3.COMUNICAÇÃO VE/EVSE.....	31
3.3.1. Funções do controlo piloto	34
3.3.2. Regulação da potência de carga	35
3.3.3. Tempos de resposta do EVSE.....	37
3.3.4. Circuito de Proximidade	39
3.3.5. Sequência típica de estados num ciclo de carregamento	40

3.4.CARACTERÍSTICAS DA ASSEMBLAGEM DO CABO	42
4. CONTROLADOR DE CARGA.....	45
4.1.DESCRICÃO GERAL.....	45
4.1.1. <i>Requisitos Predefinidos</i>	45
4.2.HARDWARE.....	47
4.2.1. <i>Microcontrolador</i>	47
4.2.2. <i>Circuito de comunicação com o VE</i>	49
4.2.3. <i>Circuito de simulação do veículo elétrico</i>	58
4.2.4. <i>Circuito de medição de potência</i>	59
4.2.5. <i>Circuito do sistema de RFID</i>	63
4.2.6. <i>Circuito do display touch</i>	64
4.2.7. <i>Esquema total de comando do EVSE</i>	67
4.2.8. <i>Circuito de Potência</i>	68
4.3.SOFTWARE	71
4.3.1. <i>Circuito de Comunicação com o VE</i>	71
4.3.2. <i>Configuração Módulo RFID</i>	74
4.3.3. <i>Configuração do Display Nextion</i>	75
4.3.4. <i>Configuração do PZEM-004T</i>	80
4.3.5. <i>Cálculos efetuados no software</i>	82
4.3.6. <i>Envio de E-mail</i>	85
4.3.7. <i>Esquema geral do Software</i>	87
5. APLICAÇÃO PRÁTICA E TESTES FUNCIONAIS	89
5.1.TESTES AO CIRCUITO DE SIMULAÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO.....	89
5.2.DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO FINAL.....	90
5.2.1. <i>Implementação do circuito de comando</i>	90
5.2.2. <i>Implementação do protótipo final</i>	91
5.3.TESTES FUNCIONAIS AO PROTÓTIPO FINAL.....	94
6. CONCLUSÕES	99
6.1.CONTRIBUIÇÕES.....	99
6.2.PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

Índice de Figuras

Figura 1- Localização do carregador em função do tipo de carregamento [3]	6
Figura 2- Esquema genérico de blocos de uma estação de carregamento DC (<i>off-board</i>) [5]	7
Figura 3- Representação prática dos diferentes modos de carregamento [14]	9
Figura 4- Descrição de cada pino dos conectores IEC 62196 Tipo 2 e COMBO 2	11
Figura 5- Diferentes casos de ligação descritos na Norma IEC 61851-1	12
Figura 6- Diferentes estados de comunicação definidos pela IEC 61851-1 [20]	13
Figura 7- Esquema do circuito de proximidade com conector do tipo 1 [22]	16
Figura 8- VersiCharge – Siemens [23]	17
Figura 9- EVlink Smart Wallbox [26]	19
Figura 10- EV200 – Bosch [28]	21
Figura 11- Commander 2 -Wallbox [30]	23
Figura 12- Normas internacionais das infraestruturas de carregamento de VEs [32]	29
Figura 13- Circuito típico do piloto de controlo [35]	31
Figura 14- Circuito equivalente do controlo do piloto [35]	33
Figura 15- Percentagem de <i>dutycycle versus</i> corrente elétrica fornecida (A) [35]	36
Figura 16- Esquema do circuito de proximidade num conector do tipo 2 [33]	39
Figura 17- ESP32 DEVKIT V1	48
Figura 18- Identificação de entradas e saídas do ESP32 DEVKIT V1	49
Figura 19- Esquema de simulação da amplificação de sinal	50

Figura 20 – Sinais à entrada e saída do OpAmp	51
Figura 21- Representação física e esquema de ligações do LF353N	52
Figura 22- Simulação do divisor de tensão de 12V para 3,3V	53
Figura 23- Aspeto físico do potenciómetro RKT-3296 selecionado	54
Figura 24- Representação da ordem de fecho dos contactos de potência	55
Figura 25- Identificação dos pinos no MOSFET 2N7000 [39]	56
Figura 26- Identificação dos pinos do relé OMRON G5NB	56
Figura 27- Circuito de comando	57
Figura 28- Esquema do circuito de simulação do VE	59
Figura 29- Aspeto físico do PZEM-004T-100A V3	62
Figura 30- Esquema de ligações PZEM-004T-100A V3	63
Figura 31- Esquema de ligações módulo RFID VMA405	64
Figura 32- Aspeto físico <i>display touch</i> Nextion 4,3 polegadas	65
Figura 33- Esquema de ligações entre o ESP32 e o Nextion 4,3’’	66
Figura 34- Esquema geral a implementar no PCB	67
Figura 35- Aspeto físico da fonte de alimentação utilizada	69
Figura 36- Aspeto físico do conector utilizado	70
Figura 37- Circuito de potência	70
Figura 38- Representação gráfica da medição do PWM com 10% <i>duty cycle</i>	71
Figura 39- Programação da medição do PWM	72
Figura 40- Programação do estado “ A Carregar”	73

Figura 41- Representação da distinção de estados no ciclo de carregamento	74
Figura 42- Configuração de uma nova entrada UART	75
Figura 43- Página inicial do Nextion	76
Figura 44- Página de inserção do tempo de carregamento	77
Figura 45- Informação enviada do Nextion para o ESP32	77
Figura 46- Leitura dos valores enviados pelo Nextion	78
Figura 47- Envio de dados do ESP32 para o Nextion	79
Figura 48- Página com os dados instantâneos do carregamento	79
Figura 49- Definição das entradas de comunicação do PZEM-004T	80
Figura 50- Configuração da leitura da tensão pelo PZEM-004T	81
Figura 51- Sinais da tensão e corrente do VE	83
Figura 52- Definição para ligação do ESP32 à internet	86
Figura 53- Formato do e-mail enviado pelo ESP32	86
Figura 54- Aspeto físico do circuito simulador do VE	89
Figura 55- Representação física do PCB desenvolvido	91
Figura 56- Interior do equipamento desenvolvido	92
Figura 57- Exterior e interior da tampa do equipamento desenvolvido	93
Figura 58- Protótipo final em funcionamento	94
Figura 59- Dados de carregamento durante o Teste 1	96
Figura 60- Dados de carregamento durante o Teste 2	97
Figura 61- Dados de tensão e corrente obtidos pelo multímetro respetivamente	97

Índice de Tabelas

Tabela 1- Tempo de carregamento dos VEs em função da Potência de carregamento e capacidade da bateria [6]	7
Tabela 2- Tipos de conectores definidos pela Norma IEC 62196 [15]	10
Tabela 3- <i>Duty cycle</i> do piloto proveniente do EVSE [20]	14
Tabela 4- Código de resistências para conectores e tomadas de VEs [9]	16
Tabela 5- Especificações técnicas VersiCharge [23] [24]	18
Tabela 6- Especificações técnicas EVlink Smart Wallbox [26]	20
Tabela 7- Especificações técnicas EV200 [28]	22
Tabela 8- Especificações Técnicas Commander 2 [30]	24
Tabela 9- Comparação de especificações entre os equipamentos acima descritos	26
Tabela 10- Definição dos estados do veículo [35]	32
Tabela 11- Parâmetros do circuito do piloto do lado do EVSE, associado à Figura 14 [35]	32
Tabela 12- Parâmetros do circuito piloto do lado do VE, associado à Figura 14	34
Tabela 13- Interpretação do <i>duty cycle</i> por parte do EV, considerando uma tolerância de $\pm 2\%$ [35]	37
Tabela 14- Especificação dos tempos de resposta do EVSE [35]	37
Tabela 15- Código de resistências para os conectores [33]	40
Tabela 16- Secção dos condutores do cabo [35]	44

Tabela 17- Características de medição do PZEM-004T-100A [42]	61
Tabela 18- Especificações técnicas Nextion <i>touchscreen</i> 4,3 polegadas básico [44]	66
Tabela 19- Tensões e correntes da fonte de alimentação	69
Tabela 20- Medição das resistências do simulador do VE	90

Acrónimos

AC	–	<i>Alternating Current</i>
ADC	-	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
CENELEC	-	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>
CT	-	<i>Comissão Técnica</i>
DC	–	<i>Direct Current</i>
dc	–	<i>Duty Cycle</i>
DIN	-	<i>Deutch Institut fur Normung</i>
EEPROM	-	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EI	-	<i>Empresa ou instituição</i>
EN	-	<i>European Standard</i>
EV	–	<i>Electric Vehicle</i>
EVSE	–	<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>
FwD	-	<i>Freewhelling Diode</i>
GPIO	-	<i>Geneal-Purpose Input/Output</i>
HEV	–	<i>Hibrid Electric Vehicle</i>
ICE	-	<i>Internal Combustion Engine</i>
IEC	–	<i>International Electrotechnical Comission</i>
IEEE	–	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	-	<i>Internet of Things</i>

IP	- Índice de Proteção
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
MOSFET	- <i>Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect Transistor</i>
OBC	- <i>On-board Battery Charger</i>
OpAmp	- <i>Operational amplifier</i>
PCB	- <i>Printed Circuit Board</i>
PHEV	- <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles</i>
PWM	- <i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	- <i>Random-Access Memory</i>
RFID	- <i>Radio Frequency Identification</i>
RMS	- <i>Root-Mean-Square</i>
RX	- <i>Receiver</i>
SAE	- <i>Society of Automotive Engineering</i>
SPI	- <i>Serial Peripheral Interface</i>
TX	- <i>Transmitter</i>
UART	- <i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a emissão de gases de estufa e a consequente pressão imposta pelos governos para atingir determinadas metas de emissões de CO₂, têm levado a uma completa reviravolta no setor da mobilidade. Desde o início do Séc. XX que se começaram a produzir em série veículos com motores de combustão interna e desde então a tecnologia base de locomoção não mudou. A tecnologia foi amplamente apurada, contudo os rendimentos continuam relativamente baixos e mesmo aplicando tecnologias de atenuação da emissão de gases prejudiciais para o ambiente, os valores destes continuam insustentáveis.

No início do séc.XX os veículos elétricos também tiveram a sua oportunidade, contudo eram pouco apetecíveis por duas razões essenciais: baixa autonomia e o elevado tempo de recarga.

Atualmente o mercado disponibiliza vários tipos de veículos elétricos, como por exemplo: elétricos, híbridos e híbridos *plug-in*. Recentemente este tipo de veículos apresenta capacidade de armazenamento de energia suficiente para o quotidiano da maioria dos utilizadores. Para dar resposta aos elevados tempos de carregamento, desenvolveram-se vários tipos de carregadores, que no seu expoente máximo podem carregar até 80% da capacidade da bateria em menos de 1 hora, dependendo da capacidade da mesma. [1]

Contudo a maioria dos utilizadores fazem o carregamento do seu veículo em casa ou no seu local de trabalho, com um tipo de carregamento mais lento. A presente dissertação pretende focar os controladores AC até 7kW por este motivo.

1.1. OBJETIVOS

Desenvolver um controlador de carga monofásico para veículos elétricos até 7 kW, de acordo com o protocolo de carregamento SAE J1772 e utilizando o conector do tipo 2, onde será possível:

- Selecionar diferentes potências de carregamento;
- Disponibilizar num display informações relativas ao carregamento, nomeadamente: corrente e tensão de carga, potência, tempo de carregamento e custo do carregamento (em função de uma tarifa pré-definida);
- Controlar o acesso a este equipamento através da apresentação de um cartão RFID (ex. cartão de aluno do ISEP), cujo seu número de série conste na base de dados definida;
- Exportar os dados do carregamento através de uma placa de rede com porta Ethernet ou Wifi. Exemplo de dados a exportar: nome, data, custo e tempo total de carregamento.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente documento está organizado por capítulos da seguinte forma:

- O Capítulo 1 é o capítulo introdutório, onde é exposto o contexto da presente dissertação e os respetivos objetivos.
- O Capítulo 2 refere-se ao estado da arte, onde são apresentadas as diferentes infraestruturas de carregamento, os protocolos de comunicação e posteriormente é feita uma análise de mercado aos controladores AC monofásicos até 7 kW existentes.
- No Capítulo 3 é abordado aprofundadamente o protocolo de comunicação entre o veículo e o controlador de carga.

- O Capítulo 4 descreve o projeto do protótipo desenvolvido em dois subcapítulos: *Hardware e Software*. O *Hardware*, onde são descritos os equipamentos utilizados, esquemas de montagem, conector de ligação e cablagem. O subcapítulo do *Software* descreve de que forma foi implementado o *software* em cada uma das principais funcionalidades do protótipo.

É também apresentado um esquema total do *software* implementado.

- O Capítulo 5 descreve sucintamente como foi aplicado na prática o projeto desenvolvido no capítulo anterior e são também elaborados e descritos testes funcionais ao protótipo final e ao simulador desenvolvido.

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo é feita uma apresentação das diferentes infraestruturas de carregamento de veículos elétricos (VEs), bem como a análise de algumas soluções presentes no mercado de controladores AC até 7kW.

2.1. INFRAESTRUTURAS DE CARREGAMENTO

As necessidades de utilização de um veículo são diferentes de utilizador para utilizador e por isso foi também necessário desenvolver diferentes métodos de carregamento. Por exemplo, um utilizador que faça duas viagens entre casa e trabalho num horário regular, poderá fazer um carregamento lento (8h) em sua casa ou no local de trabalho. Um outro tipo de utilizador que faça diariamente viagens longas e distintas necessitará por vezes de um carregamento mais rápido, enquanto, por exemplo, almoça.

Para dar resposta às diferentes necessidades de utilização de uma forma organizada e universal, foram desenvolvidos quatro modos de carregamento, assim como quatro tipos diferentes de conectores, de acordo com a Norma IEC 62196.

Os carregadores de veículos elétricos podem ser classificados como *on board* ou *off board*, em função da localização do carregador e/ou do tipo de carregamento que se esteja a efetuar, como se pode ver na Figura 1. [2]

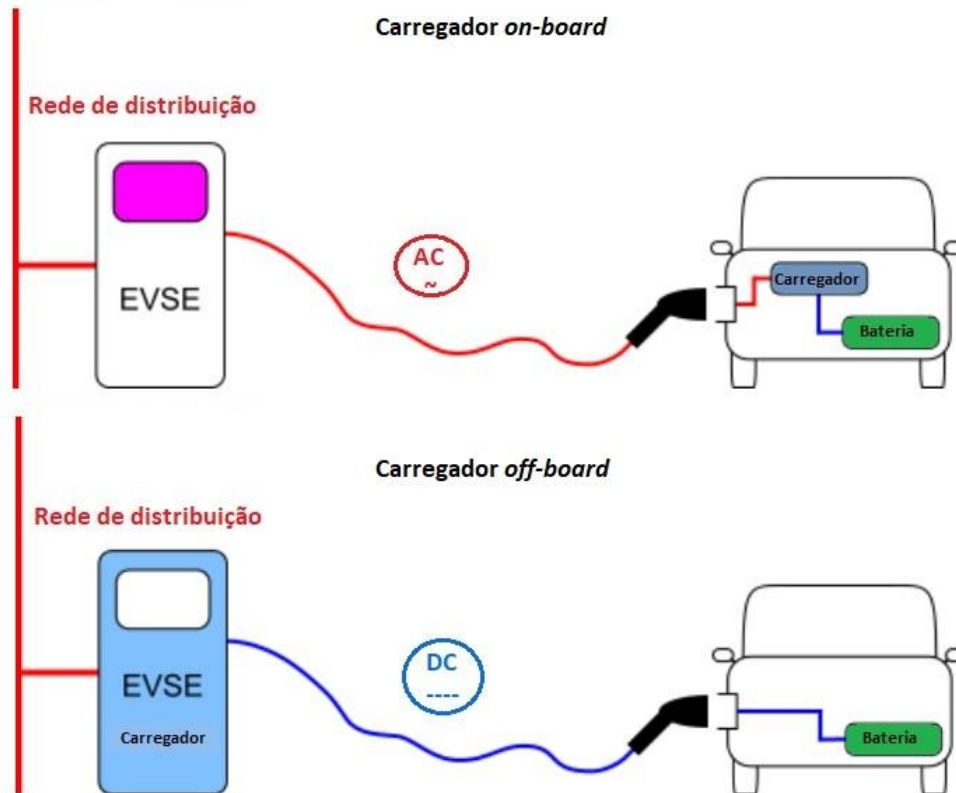


Figura 1- Localização do carregador em função do tipo de carregamento [3]

Os carregadores de baterias *on board* (OBCs) podem ser diretamente ligados à rede de distribuição através de uma ligação monofásica ou trifásica, o que reduz custos de infraestrutura para carregamento. Contudo, a capacidade de transferência de energia é tipicamente limitada, derivado de alguns constrangimentos associados ao excessivo peso, custo e dimensões. [4]

Para providenciar um carregamento significativamente mais rápido utilizam-se os carregadores *off-board*, que, como o próprio nome indica, encontram-se fora do veículo e por isso, não são tão relevantes as limitações ao nível do peso ou volume. Geralmente este tipo de infraestruturas só se encontram em parques específicos para o efeito ou em estações de serviço de autoestradas. Na Figura 2 é apresentado um esquema de blocos genérico da

instalação de um carregador DC, onde se destaca, no retângulo azul, os blocos inseridos no interior do carregador DC.

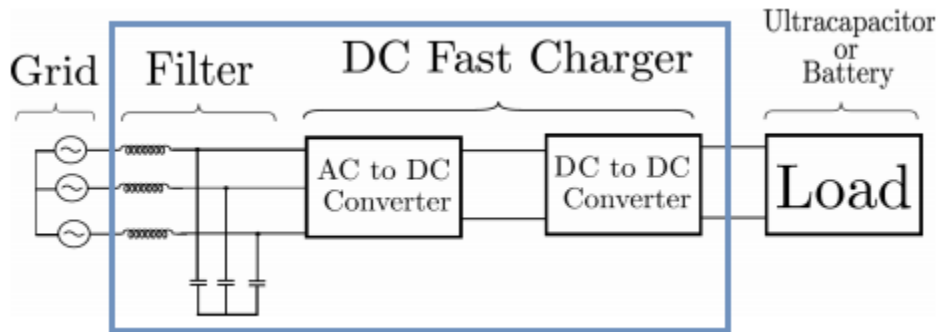


Figura 2- Esquema genérico de blocos de uma estação de carregamento DC (*off-board*) [5]

O desenvolvimento de carregadores rápidos e ultrarrápidos é indispensável para transportes públicos totalmente elétricos, mas também para automóveis, suprimindo as necessidades de todos os utilizadores. Na Tabela 1 são apresentados os tempos de carregamento em função da capacidade da bateria e da potência de carregamento. Os 4 modos de carregamento são descritos no ponto 2.1.1.

Tabela 1- Tempo de carregamento dos VEs em função da Potência de carregamento e capacidade da bateria [6]

	Potência de carregamento (kW)	Capacidade da bateria (kWh)	Tempo de carregamento (horas)
Modo 1	1,9 kW	16-50 kWh	11-36 h
Modo 2	8 kW	16-30 kWh	2-6 h
Modo 3	19,2 kW	30-50 kWh	2-3 h
Modo 4	100 kW	20-50 kWh	0,2- 0,5 h

2.1.1. MODOS DE CARREGAMENTO

Em função dos diferentes modos de carregamento, potências e tempo de carga foram definidos pela IEC 61851-1 os seguintes modos de carregamento:

- **Modo 1** [7] [8] [9] - Carregamento monofásico (230V AC) ou trifásico (400V AC), com uma potência limitada a 3,68 kW (16A). É o carregamento mais lento, mas é também o mais acessível, podendo-se utilizar uma tomada monofásica ou trifásica doméstica desde que tenha condutor de terra e respetiva proteção. Além disso não necessita de qualquer equipamento que estabeleça comunicação entre o controlador e o VE. Por isso, este modo de carregamento não é recomendado e até é proibido em vários países. [10]
- **Modo 2** [11] [12] [9]- Carregamento em AC, mas pode assumir o formato monofásico (230V AC) ou trifásico (400V AC), com uma potência limite de 7,36kW. Este modo de carregamento pode ser feito em contexto doméstico desde que tenha as devidas proteções. A conexão ao VE exige que seja feita com a função do piloto de controlo através de um equipamento de interface dedicado chamado *Electric Vehicle Supply Equipment* (EVSE). Este modo exige também um sistema de proteção de pessoas contra contactos elétricos na tomada ou no EVSE.
- **Modo 3** [4] [13] [9]- Carregamento em AC, com circuito dedicado em monofásico (230 V AC) ou trifásico (400V AC), com uma potência limite de 22kW. É conhecido como “carregador rápido AC” e tal como no modo 2 é necessário que exista um EVSE entre o fornecimento de energia e o carregador *on-board* instalado no VE.
- **Modo 4** [8] [7] [9]- Carregamento em DC, com ligação direta entre o EVSE e as baterias do VE, uma vez que o carregador é *off-board*. Este tipo de EVSE encontra-se permanentemente conectado à rede elétrica e não tem um limite de potência definido.

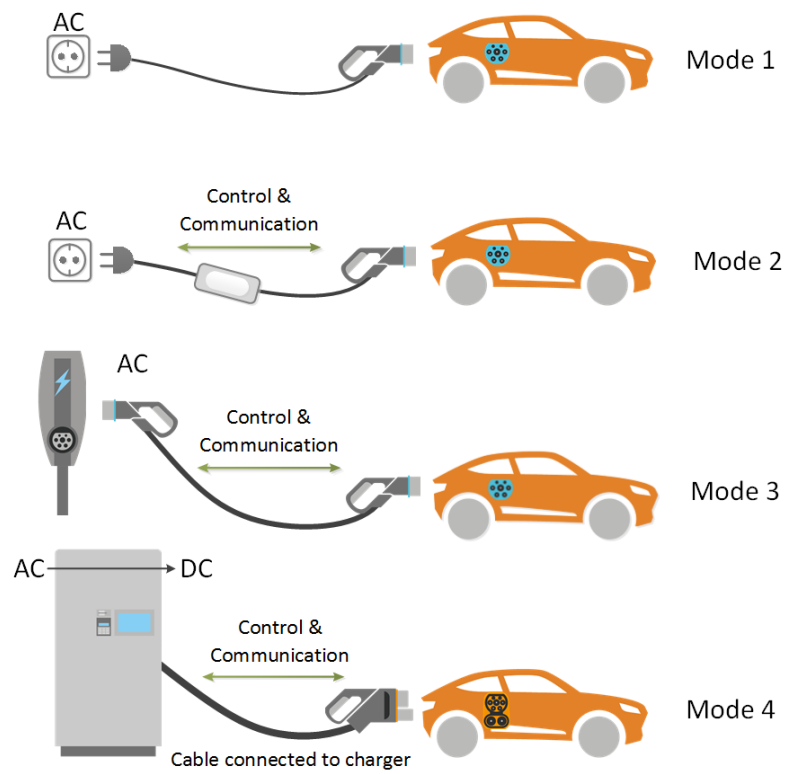

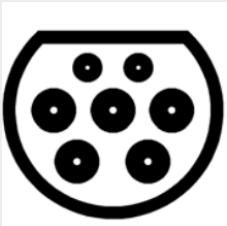

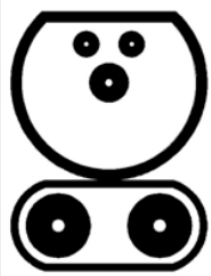



Figura 3- Representação prática dos diferentes modos de carregamento [14]

2.1.2. TIPOS DE CONEXÕES

De acordo com a Norma IEC 62196-1 há cinco tipos de conectores *standard*, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Tipos de conectores definidos pela Norma IEC 62196 [15]

	Tipo 1	Tipo 2	
AC			
	COMBO 1 (Tipo 3)	COMBO 2 (Tipo 3)	CHAdeMO (Tipo 4)
DC			

- **Tipo 1-** Este conector permite o carregamento nos modos 1, 2 e 3 ou seja, carregamento em AC, mas com a particularidade de apenas carregar em monofásico até 22kW. Este conector é também conhecido por SAE J1772. Deste conector deriva o COMBO 1.
-
- **Tipo 2-** Este conector é o mais usado na Europa, depois de em 2013 ter sido selecionado pela Comissão Europeia como o conector oficial para os seus países [16]. Permite o carregamento nos níveis 1, 2 e 3 e, além disso, pode assumir carregamento AC monofásico ou AC trifásico. Do conector IEC 62196-Type 2 deriva o COMBO 2.
- **COMBO 1/COMBO 2 (Tipo 3) -** Como o próprio nome indica estes conectores são produto de uma combinação entre os conectores do tipo 1 e 2, onde apenas são acrescentados 2 condutores de maior secção para estabelecer a ligação em DC. Os restantes 3 condutores de terra, piloto e proximidade permanecem os mesmos de um

carregamento AC. O conector COMBO 1 tem uma potência máxima de 80 kW, enquanto a tensão máxima é de 500V e a corrente de 200 A. O conector COMBO 2 tem um limite de potência de 350 kW, tensão de carregamento máxima de 1000V e corrente máxima de 500A. Ambos os conectores são usados para os carregamentos de modo 4.

- **CHAdEMO (Tipo 4)** - O conector do Tipo 4 é geralmente conhecido como CHAdEMO, e foi projetado para carregar apenas no modo 4. Este conector foi desenvolvido no Japão, mas é utilizado por variados construtores do setor automóvel. [2]

Tal como descrito pela Diretiva 2014/94/EU [11], a União Europeia definiu como conector comum o IEC 62196 Tipo 2 para carregamento AC e o COMBO 2 para DC. Desta forma são identificados na Figura 4 as conexões que cada um dos conectores estabelece.



Figura 4- Descrição de cada pino dos conectores IEC 62196 Tipo 2 e COMBO 2

Em função da infraestrutura de carregamento, são classificados 3 tipos de conexão entre a fonte de energia e o VE, definidos pela Norma IEC 61851-1. Estas classificações são identificadas como: Caso A, B e C.

- **Caso A-** Conexão do VE à fonte de alimentação utilizando um cabo e conector permanentemente ligados ao veículo. Esta conexão é tipicamente utilizada nos níveis de carregamento 1 e 2.

- **Caso B-** Ambas as conexões são removíveis. Este caso é ainda subdividido em B1, que corresponde a uma conexão a uma tomada elétrica montada na parede e B2, que corresponde a uma conexão a um EVSE com circuito dedicado. O caso B é tipicamente utilizado para o modo 3 de carregamento.
- **Caso C-** Conexão removível a um VE a partir de uma ligação permanente a um EVSE. Este caso também é amplamente utilizado para o modo 3 e é obrigatório para o modo 4 de carregamento em DC. [17]

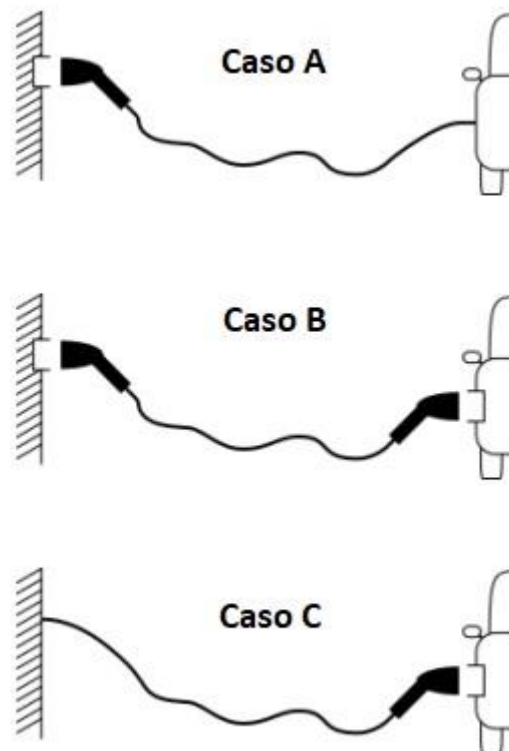


Figura 5- Diferentes casos de ligação descritos na Norma IEC 61851-1

O dimensionamento do cabo de carregamento é um desafio, pois este encontrar-se em situações muito distintas e mecanicamente desgastantes, como estar muito tempo exposto no exterior com variações diárias de temperatura, incidência solar, humidade, chuvas-ácidas, gelo e exposição à água salgada. Todas estas exposições ao ambiente afetam o período de vida útil, *performance*, fiabilidade e ainda a segurança. [18]

Os cabos de carregamento devem, por isso, ser envolvidos por uma malha metálica ligada à terra de proteção e toda a sua assemblagem deve ser robusta o suficiente para suportar os

ambientes descritos no parágrafo anterior. Além disso, é também requerido pela Norma 61851-1 2010 que o cabo permaneça flexível e operável por uma única pessoa. [9]

Tendo em conta todas estas variantes e em função das diferentes potências nos quatro modos de carregamento, não há uma Norma específica para estes cabos. Ou seja, são dimensionados da mesma forma que uma outra instalação, em função da corrente de carregamento a que estiverem sujeitos, assim como às condições físicas de aplicação. [19] [15]

2.1.3. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Há várias Normas disponíveis internacionalmente acerca das infraestruturas de carregamento dos VEs. As Normas da *Society of Automotive Engineering* (SAE) e o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) são as mais usadas pelos fabricantes dos Estados Unidos da América, enquanto as Normas da IEC são vastamente utilizadas na Europa. As Normas IEC 61851 e SAE J1772 têm praticamente os mesmos requisitos e utilizam praticamente o mesmo método. Na SAE o nível de potência de carregamento é identificado como “nível”, ao passo que na IEC é identificado como “modo”, contudo a sua metodologia e potências de carregamento são as mesmas. [19]

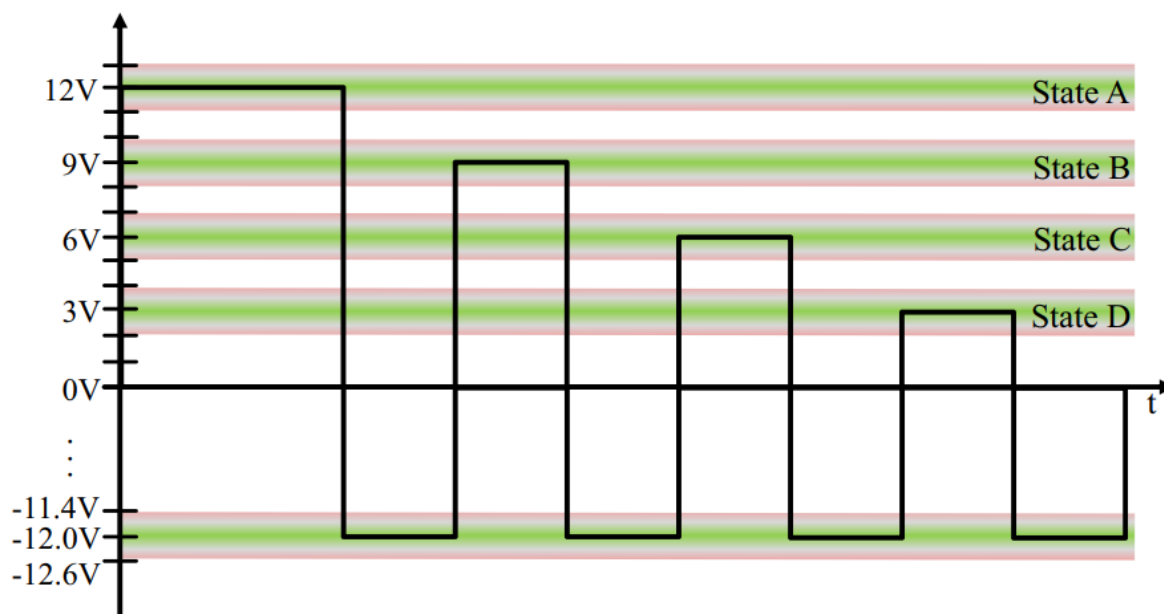


Figura 6- Diferentes estados de comunicação definidos pela IEC 61851-1 [20]

O protocolo de comunicação atual utilizado para o carregamento de VEs é baseado no *Pulse Width Modulation* (PWM) com uma amplitude entre +12V e -12V a 1kHz de frequência descrito na Norma IEC 61851-1. Este PWM é enviado pelo EVSE através da linha de

comunicação dedicada: o Pin Piloto, como se pode identificar na Figura 4. O *duty cycle* determina a máxima corrente que o EVSE pode disponibilizar e o nível de tensão lido pelo EVSE, determina o estado de conexão com o VE. O cálculo do *duty cycle* é descrito na Tabela 3 para os diferentes cenários.

Por exemplo, para um carregador AC disponibilizar uma corrente de carga de 18 A, deve disponibilizar o seguinte *duty cycle*:

$$(\% dc) = \frac{\text{Corrente (A)}}{0,6} \Leftrightarrow$$

$$(\% dc) = \frac{18}{0,6} \Leftrightarrow$$

$$(\% dc) = 30 \%$$

Tabela 3- *Duty cycle* do piloto proveniente do EVSE [20]

Available line current	Nominal Duty Cycle (Tolerance ± 1 %)
Digital communication will be used to control an off-board DC charger or communicate available line current for an on-board charger.	5% duty cycle
Current from 6 A to 51 A:	$(\% dc) = \text{current[A]} / 0,6$ $10\% \leq \text{duty cycle} \leq 85\%$
Current from 51 A to 80 A:	$(\% dc) = (\text{current[A]} / 2.5) + 64$ $85\% < \text{duty cycle} \leq 96\%$

Relativamente ao nível de tensão enviada no pino piloto do EVSE para o VE são apontados 4 estados de conexão, apresentados graficamente na Figura 6, da seguinte forma:

- **Estado A:** O conector não está ligado ao VE, ou seja, o EVSE coloca uma tensão de 12V DC no pino piloto;
- **Estado B:** Assim que o conector é ligado ao VE, a tensão enviada pelo EVSE atravessa uma resistência de 2,74k Ω , instalada no interior do VE, que provoca uma queda de tensão de 12V para 9V. Com esta queda de tensão assume-se o estado B e o EVSE deverá inserir um PWM de $\pm 12V$ a 1kHz de frequência. Uma vez

identificado o estado B, o EVSE ajusta o *duty cycle* do PWM para informar o veículo que potência pode disponibilizar durante o carregamento.

- **Estado C:** Ao receber o *duty cycle*, o veículo aciona um *switch* que coloca uma segunda resistência de 882Ω em paralelo a ser atravessada pelo piloto, provocando uma nova queda de tensão de 9V para 6V. Ao ativar este *switch* o veículo informa que está disponível para receber potência e neste momento, o EVSE ativa o circuito de potência. Não há nenhum tempo definido para o fecho do EVSE, pois pode estar dependente de outros fatores, como por exemplo pagamento.
- **Estado D:** O estado D é imposto pelo VE quando necessita de ventilação para refrigeração, e aí coloca uma resistência de 246Ω que causa uma descida do PWM de 6V para 3V.

Para garantir fiabilidade na detenção do estado é definido uma variação máxima de $\pm 1\text{ V}$ nos níveis de tensão. Caso este limite seja excedido em algum estado, o EVSE tem de parar obrigatoriamente o carregamento. [20] [21] [9]

Para que o VE identifique a presença do conector utiliza-se o pino de proximidade (Figura 4). Este pino apenas consiste na colocação de uma resistência entre o pino de proximidade e o pino da terra de proteção.

Esta resistência, ao estar conectada na tomada do veículo, irá ser colocada numa posição que cria um divisor de tensão. Consequentemente irá reduzir a tensão de um *input* ao controlador do carregador do VE. Este *input* garante a correta conexão entre o conector e a tomada do veículo. No caso do conector do tipo 1 é necessário pressionar um botão para permitir o acoplamento. Neste botão também está inserido um *switch* normalmente fechado, que ao ser pressionado interrompe a ligação direta à terra e por isso a tensão atravessa uma segunda resistência, como se pode identificar no esquema representado na Figura 7. Desta forma o controlador de carga do veículo consegue também identificar o estado de “botão pressionado”.

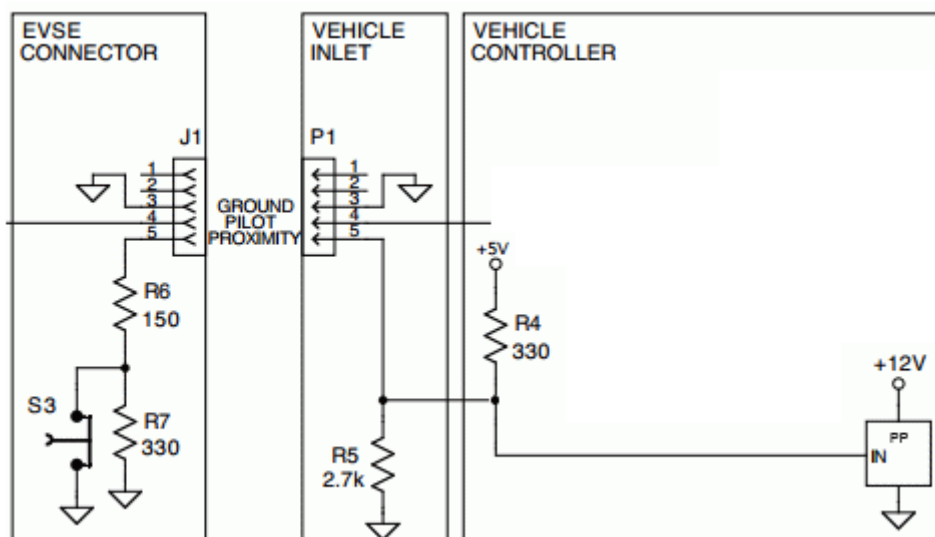


Figura 7- Esquema do circuito de proximidade com conector do tipo 1 [22]

No conector do tipo 2 não é necessário pressionar nenhum botão para o correto acoplamento, por isso a resistência do pino de proximidade é apenas uma, o que leva à existência de apenas dois estados: acoplado ou não acoplado. Para além desta função, esta resistência também informa o veículo da capacidade de carga da assemblagem do cabo com o conector, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4- Código de resistências para conectores e tomadas de VEs [9]

Capacidade máxima do cabo em termos de corrente (A)	Resistência equivalente do Pino de proximidade (Ω) Tolerância de $\pm 3\%$
13 A	1,5 k Ω 0,5W
20 A	680 Ω 0,5W
32 A	220 Ω 0,5W
63 A (trifásico) / 70 A (monofásico)	100 Ω 0,5W

Por razões de segurança, existe uma sequência de conexão aquando o acoplamento, que deve ser estabelecida em primeiro lugar pelo pino de terra e em último pelo pino de piloto. Os restantes condutores não têm uma ordem específica definida. Durante o desacoplamento, o

pino piloto deve ser a primeira ligação a ser quebrada (pois leva à imediata interrupção do circuito de potência) e a ligação de terra será a última a ser interrompida.

A ordem de acoplamento é perceptível no conector do tipo 2 da Figura 4, onde o pino de piloto é consideravelmente mais curto do que os restantes pinos do conector. E o pino da terra de proteção é o mais comprido de todos. [9]

2.2. SOLUÇÕES DE MERCADO – CONTROLADORES AC

Este subcapítulo, tem como principal objetivo a apresentação de soluções existentes no mercado de EVSEs com características idênticas às pretendidas para este projeto.

2.2.1. SIEMENS- VERSICHARGE

A Siemens é uma das mais conceituadas marcas a nível internacional em diferentes setores tecnológicos. Com o crescimento dos VEs a nível internacional, a Siemens disponibiliza uma larga gama de diferentes tipos de EVSE AC e DC.



Figura 8- VersiCharge – Siemens [23]

O VersiCharge é um equipamento fácil de instalar e muito simples de utilizar. Dispõe de um *halo* led que permite interpretar o estado de carregamento a longa distância, como se pode ver na Figura 8 na cor verde. Este equipamento tem uma capacidade de fornecimento de potência regulável entre 1,8kW e 7,2kW, que se pode regular em função da capacidade máxima da instalação em causa.

A estrutura é feita de material 60% reciclado e tem uma proteção específica contra intempéries para o conector, aquando na posição de repouso. [23]

Na Tabela 5 é possível encontrar mais informação técnica deste EVSE.

Tabela 5- Especificações técnicas VersiCharge [23] [24]

Fornecimento de Energia		Potência de <i>output</i>		Condições mecânicas	
Alimentação do equipamento	Conector + comprimento do cabo (m)	Potência (kW)	Corrente (A)	Dimensões L x A x P (mm)	Peso (kg)
208 a 240 V AC (1 F+ N+ T)	Tipo 1 (4 m)	1,8 a 7,2kW	7,8 a 30 A	368x406x165	5,5 kg
Interação com o utilizador				Ambiente	
Indicadores de estado	Botões de comando	Controlo de acesso	Comunicação externa	Temperatura de operação	Grau de proteção (IP)
<i>Halo</i> led	2	-	Siemens <i>make-ready</i>	-30°C a 50°C	-

2.2.2. SCHNEIDER- EVLINK SMART WALLBOX

A par com a Siemens, a Schneider Electric é uma das mais conceituadas empresas multinacionais relacionadas com material elétrico, distribuição, controlo e automação. Assim sendo disponibiliza no seu portefólio uma vasta variedade de diferentes EVSE AC e DC.

O EVlink Smart Wallbox foi desenvolvido com o intuito de aplicação em parques de estacionamento de acesso público, frotas empresariais e edifícios residenciais multifamiliares. Este equipamento permite a medição de energia, controlo de acesso para a sua utilização através de credencial de identificação por rádio frequência (RFID) e desta forma dispõe de um registo de utilização. Possibilita também ligação à internet através de uma porta *ethernet* ou de um *modem* 3G/4G, que, através de um próprio serviço *cloud* permite a exportação de dados como o consumo de energia, atualizações de *firmware* e pequenas manutenções. [25]



Figura 9- EVlink Smart Wallbox [26]

Tabela 6- Especificações técnicas EVlink Smart Wallbox [26]

Fornecimento de Energia		Potência de <i>output</i>		Condições mecânicas	
Alimentação do equipamento	Conector + comprimento do cabo (m)	Potência (kW)	Corrente (A)	Dimensões L x A x P (mm)	Peso (kg)
220-240 V AC (1 F+ N+ T)	Tipo 1 ou 2 (4,5m)	7,4kW	32A	330x480x170	7,7 kg
Interação com o utilizador				Ambiente	
Indicadores de estado	Botões de comando	Controlo de acesso	Comunicação externa	Temperatura de operação	Grau de proteção (IP)
1 led multicolor	1 botão	RFID	Porta Ethernet	-30°C a 50°C	54

2.2.3. BOSCH- EV200

A Bosch é uma empresa multinacional de origem alemã com um raio de ação bastante amplo em diferentes setores de mercado, como por exemplo: componentes para o setor automóvel, produtos industriais e produtos de construção.

A Bosch desenvolveu tecnologias fundamentais que estão presentes no nosso quotidiano, como por exemplo o controlo de tração dos veículos (ESP) ou a tecnologia *common rail diesel*. Com o crescente interesse mundial na mobilidade elétrica a Bosch continua o seu legado, disponibilizando variadíssimos sistemas e componentes vitais deste tipo de veículos. Desta forma, disponibiliza também variados modelos de EVSEs como por exemplo o Bosch EV200, representado pela Figura 10. [27]



Figura 10- EV200 – Bosch [28]

Este equipamento foi desenvolvido com o principal intuito de ser muito simples de utilizar e versátil para uma instalação essencialmente doméstica (no interior ou exterior). Dispõe de diversos níveis de potência e diversos comprimentos do cabo de carregamento. A Tabela 7 dispõe de mais informação técnica relativa a este equipamento.

Tabela 7- Especificações técnicas EV200 [28]

Fornecimento de Energia		Potência de <i>output</i>		Condições mecânicas	
Alimentação do equipamento	Conector + comprimento do cabo (m)	Potência (kW)	Corrente (A)	Dimensões L x A x P (mm)	Peso (kg)
208-240 V AC (1 F+ N+ T)	Tipo 1 (5,5m)	7,2 kW	30A	350x400x126	7 kg
Interação com o utilizador				Ambiente	
Indicadores de estado	Botões de comando	Controlo de acesso	Comunicação externa	Temperatura de operação	Grau de proteção (IP)
1 led multicolor	2 botões	-	-	-30°C a 50°C	54

2.2.4. WALLBOX- COMMANDER 2

A Wallbox é uma empresa sediada em Barcelona muito recente, fundada em 2015, e dedicada exclusivamente a equipamentos de carregamento para VEs. Lançaram até ao momento cerca de 7 produtos, uma aplicação móvel e um software para gestão dos equipamentos. A maioria das suas soluções têm aplicabilidade residencial ou empresarial com valores de potência geralmente abaixo dos 22kW e, portanto, carregamentos em AC.

O Commander 2, representado na Figura 11, já é a segunda geração deste modelo, que se destinge pelo seu *display* tátil de 7 polegadas que permite ao utilizador interagir de diversas formas com o equipamento, como por exemplo, gerir e agendar o carregamento. Ao nível da identificação do utilizador, é possível fazê-lo através de credencial RFID, PIN ou aplicação móvel da marca Wall box. Uma vez conectado o equipamento à internet é possível gerir os

utilizadores, um ou mais equipamentos e ainda receber informações sobre o tempo de carregamento, consumo energético, sessões ativas e histórico de operações, através da plataforma em *cloud* myWallbox. [29] [30]

A Tabela 8 disponibiliza informação técnica relativa a este equipamento.



Figura 11- Commander 2 -Wallbox [30]

Tabela 8- Especificações Técnicas Commander 2 [30]

Fornecimento de Energia		Potência de <i>output</i>		Condições mecânicas	
Alimentação do equipamento	Conector + comprimento do cabo (m)	Potência (kW)	Corrente (A)	Dimensões L x A x P (mm)	Peso (kg)
220-240 V AC (1 F+ N+ T)	Tipo 1 e 2 (5m)	7,4 kW	32A	221x152x115	2,4 kg (s/cabo)
Interação com o utilizador				Ambiente	
Indicadores de estado	Botões de comando	Controlo de acesso	Comunicação externa	Temperatura de operação	Grau de proteção (IP)
<i>Display 7''</i>	-	RFID/PIN	Ethernet e Wifi	-25°C a 40°C	54

2.2.5. COMPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE MERCADO

A gama de soluções apresentadas anteriormente tem como ponto comum a potência máxima de carregamento que não excede os 7,4 kW em AC monofásico assim como o protocolo de carregamento utilizado, que é o SAE J1772/IEC 61851-1. Todos os equipamentos têm como principal aplicabilidade o mercado residencial ou empresarial, uma vez que se trata de um tipo de carregamento relativamente lento. Além disso este tipo de equipamentos pode ser instalado praticamente em qualquer instalação elétrica (residencial ou empresarial), desde que a disponibilize potência suficiente, infraestrutura de cablagem adequada e respetivas proteções contra sobrecargas/curto-circuitos, contactos diretos e indiretos.

Nas restantes especificações técnicas, que estão resumidas na Tabela 9, é possível identificar que todos os equipamentos são muito semelhantes em questões de dimensão, peso, simplicidade de operação e interpretação.

O ponto fundamental diferenciador entre estes equipamentos são as possibilidades de integração com sistemas externos ou próprios que possibilitem, por exemplo, exportação de dados e controlo remoto. Por exemplo, o Bosch- EV200 é uma solução com o propósito

exclusivamente residencial, que mesmo contendo uma porta ethernet, a Bosch não disponibiliza nenhuma plataforma ou método de gestão do equipamento. Por outro lado o Wallbox- Commander 2, que é uma solução residencial e também direcionada para o setor empresarial, mas que já permite a gestão e monitorização através de um serviço *cloud* próprio através de software na *web* ou aplicação móvel, permite também o controlo de acesso ao equipamento através de credencial RFID, pin numérico a inserir no *display* tátil ou através da aplicação móvel. Este equipamento pode ainda ser integrado com o Power Boost da Wallbox, que sabendo a potência contratada da instalação consegue gerir em função do consumo instantâneo da habitação, a energia sobrando que pode ser dispensada para o carregamento do VE.

Entre as soluções apresentadas, a Introdução Wallbox- Commander 2, é a que mais se aproxima do projeto pretendido para esta dissertação, com uma intuitiva utilização, gestão de utilizadores e de dados, design minimalista, *display* informativo e exportação de dados por *cloud*.

Conclui-se que ao nível técnico operacional os equipamentos são todos muito semelhantes, destacando-se os modos de interação e gestão dos equipamentos.

Tabela 9- Comparação de especificações entre os equipamentos acima descritos

		Siemens	Schneider	Bosch	Wallbox
		Versicharge	EVlink	EV200	Commander2
Fornecimento de energia	Alimentação do equipamento	208 a 240 V AC (1F+ N + T)	220 a 240 V AC (1F+ N + T)	208 a 240 V AC (1F+ N + T)	220 a 240 V AC (1F+ N + T)
	Conectores	Tipo 1,Tipo 2	Tipo 1,Tipo 2	Tipo 1	Tipo 1,Tipo 2
Potência de Output	Potência	7,4 kW	7,4 kW	7,2 kW	7,4 kW
	Corrente	32 A	32 A	30 A	32 A
Interação com o utilizador e	Indicadores de estado	Sinais de Leds	1 Led Multicolor	1 Led Multicolor	<i>Display 7''</i>
	Botões		1 Botão	2 Botões	<i>Ecran tátil</i>
	Controlo de acesso	RFID	RFID	-	RFID/PIN/APP
Interface	Comunicação	Efacec EV-Public charger	Porta Ethernet para manutenção e configuração	Porta Ethernet para manutenção e configuração	Ethernet e Wifi (manutenção e gestão)
Ambiente	Temperatura de operação	-25 °C a 50°C	-30 °C a 50°C	-30 °C a 50°C	-25 °C a 40°C
	Humidade	5% a 95%	5% a 95%	95%	-
	Grau de Proteção	IP54	IP54	IP54	IP54
Mecânico	Comprimento do cabo (m)		4,5 m	5,5 m	5 m
	Dimensões (mm)	284x432x215 mm	330x480x170 mm	350x400x126 mm	284x432x215 mm
	Peso	6 Kg	7,7 Kg	7 Kg	2,4 Kg (s/ cabo)

3. PROTOCOLO DE CARREGAMENTO

Neste capítulo é feita uma análise aprofundada ao protocolo de comunicação entre o EVSE e o VE.

3.1. NORMALIZAÇÃO DOS EVSE

Recentemente os VEs têm sido alvo de elevado investimento tecnológico, incentivos governamentais e consequentemente um custo do produto final acessível à sociedade em geral, pois, acredita-se ser um meio de transporte energeticamente mais sustentável que os veículos com motor de combustão interna (ICE). Estes incentivos têm resultado num elevado aumento da utilização destes veículos como alternativa aos tradicionais veículos ICE. Neste contexto, foram desenvolvidas diferentes normas por diversas organizações por todo o mundo.

O equipamento de carga para um VE representa um desafio para o seu desenvolvimento, integração na rede e preparação para uma utilização diária. Uma estação de carregamento geralmente inclui: cabo de conexão, conector, suporte para o equipamento, fonte de alimentação com respetivas proteções e conector do veículo. [31]

Aliado a um equipamento tão complexo, potencialmente perigoso, exposto a qualquer tipo de utilizador, em quaisquer condições atmosféricas e em qualquer local no mundo, vem também a necessidade de estabelecer normas para a sua construção e utilização. Ao nível global, a normalização é feita essencialmente por duas entidades: a *International Electrotechnical Commission* (IEC) e a *International Organization for Standardization* (ISO). Ao nível Europeu existe o *European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELEC), que detém um Comité Técnico (CT), o CT-69x, que é responsável pela normalização de veículos elétricos de estrada. Também com bastante relevância internacional, os Estados Unidos da América dispõem da *Society of Automotive Engineers* (SAE) e a China da Guobiao (GB), que servem o mesmo propósito.

Como forma de evitar sobreposição de informação e conflito entre as CT da ISO e da IEC, houve um acordo consensual em 1996, onde foi definido que as CT da ISO ficariam encarregues do trabalho relativo ao VE como um todo e as CT da IEC ficariam encarregues do trabalho relativo a componentes elétricos e à infraestrutura de carregamento. [32]

Na Figura 12, estão representadas diversas normas das diferentes entidades supra referidas, divididas em quatro aspetos fundamentais:

- Conectores (machos e fêmeas);
- Comunicação;
- Tipologias de Carregamento;
- Segurança;

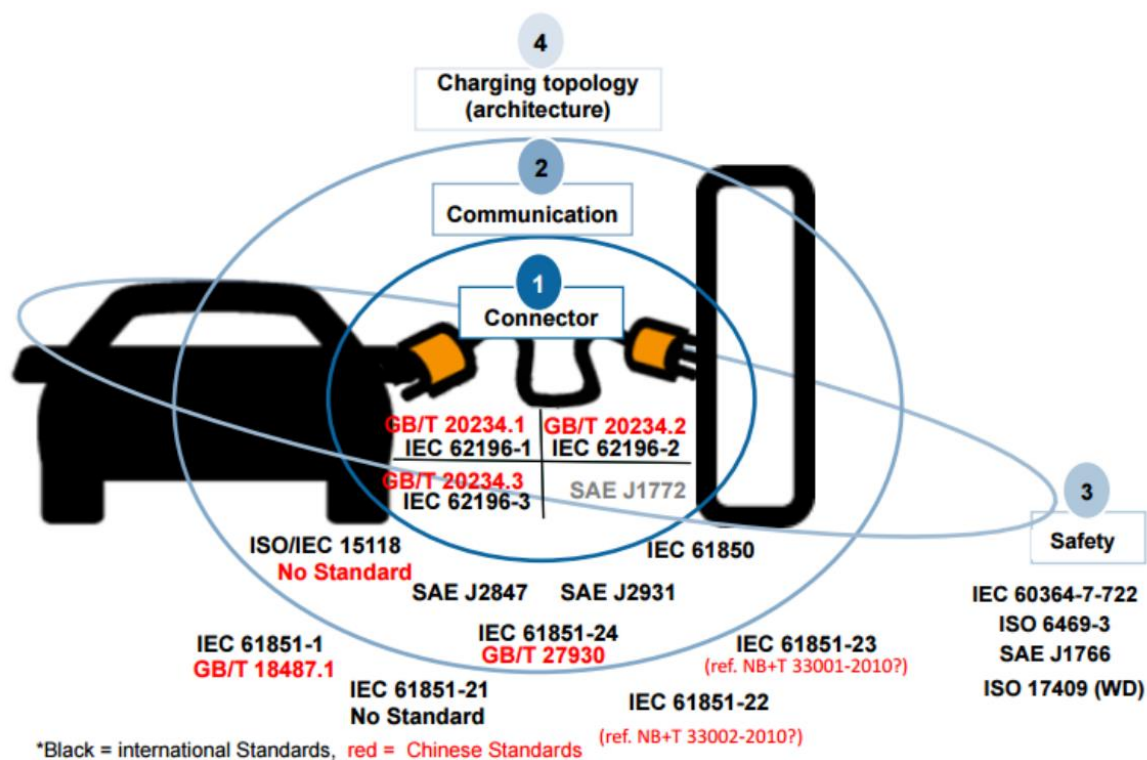


Figura 12- Normas internacionais das infraestruturas de carregamento de VEs [32]

A Norma IEC 61851-1:2010, foi aprovada pela CENELEC em 2011, o que a tornou numa *European Standard* (EN), ou seja, EN 61851-1. Esta norma tem por base um conjunto de outras normas ISO, IEC e a norma internacional SAE J1772:2010, que já conta a esta altura com a sua terceira versão após a de 1996 e 2001. [33]

Esta norma aplica-se ao carregamento *on-board* e *off-board* de veículos elétricos de estrada, que inclui diversos tipos de veículos elétricos, nomeadamente os veículos híbridos *plug in* (PHEV), contudo não inclui veículos de carris, autocarros elétricos, camiões industriais ou veículos exclusivamente *off-road*. Na norma são definidas as características e condições de operação do EVSE, a conexão ao veículo, a infraestrutura de proteção elétrica e as características a serem cumpridas pelo VE. [34]

3.2. MODO DE CARREGAMENTO

No capítulo 2.1.1, são apresentados os 4 modos de carregamento presentes na IEC 61851-1. Para este projeto, é pretendido um controlador de carga monofásico com uma potência máxima de 7kW e uma ligação dedicada à rede energética. Para estes requisitos o modo de carregamento indicado é o 3, pois:

- Exige uma ligação exclusiva à rede energética com um equipamento dedicado (EVSE), ao passo que o modo 2, além de permitir a potência requerida, apenas permite a utilização de controladores de carga inseridos no cabo e por isso podem não estar conectados a um circuito dedicado;
- Suporta carregamento até 22kW, com uma tensão admissível de 250 VAC em monofásico ou 480 VAC em trifásico;
- Permite a utilização de diversos conectores monofásicos ou trifásicos, que contenham os condutores de potência, terra de proteção, condutor para função de piloto e sistema de proteção pessoal contra choque elétrico, entre o VE e o conector.

Para todos os modos de carregamento é necessária a implementação de um interruptor diferencial com características equivalentes ao tipo B definido na norma IEC 61008-1. Este equipamento verifica se existem correntes elétricas residuais com componentes DC e caso existam, se forem superiores à sua sensibilidade, este interrompe o circuito. [34] Em conjunto com este equipamento deverá ser instalado um disjuntor para proteção de sobrecarga ou curto-circuito.

3.3. COMUNICAÇÃO VE/EVSE

A comunicação entre o VE e o EVSE baseia-se essencialmente no circuito piloto, sendo este o controlo primário que garante a operação adequada de um EVSE quando conectado a um VE/PHEV. A Norma IEC 61851-1 2010, para garantir a interoperabilidade de sistemas, utiliza os mesmos parâmetros de comunicação estabelecidos na Norma SAE J1772. [33]

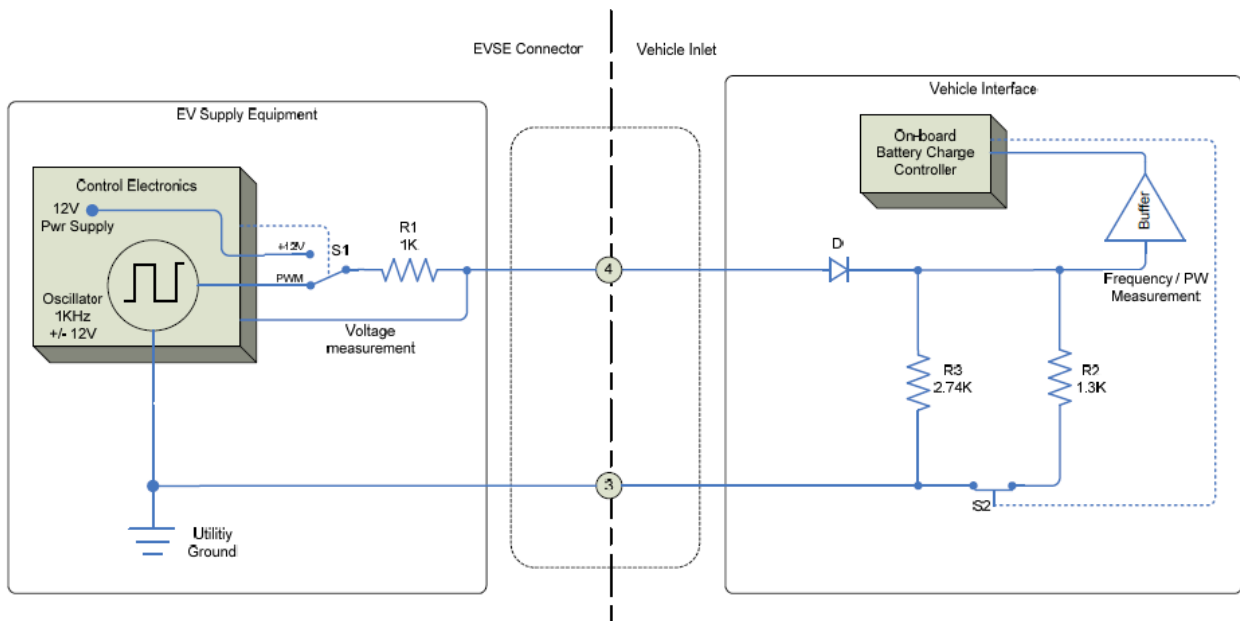


Figura 13- Circuito típico do piloto de controlo [35]

O controlo do piloto rege-se através de um PWM enviado pelo EVSE, que posteriormente é alterado com a inserção de resistências de diferentes valores pelo VE. Como se pode ver na Figura 13, o circuito do piloto é feito através da ligação do pino piloto e do pino da terra de proteção (que se liga ao *chassis* do veículo), caso haja uma interrupção na ligação entre o *chassis* do veículo e a terra de proteção, o EVSE deverá interromper imediatamente o fornecimento de energia. O PWM é continuamente monitorizado pelo EVSE e em função dessas medições obtém-se o estado de ligação entre o EVSE e o VE. Na Tabela 10 estão representados os diferentes estados definidos pela Norma SAE J1772. [35]

Tabela 10- Definição dos estados do veículo [35]

Estado do veículo	Tensão nominal (V DC)	Descrição do estado do veículo
Estado A	12,0 ⁽¹⁾	Veículo não conectado
Estado B	9,0 ⁽²⁾⁽³⁾	Veículo conectado/ não pode receber energia
Estado C	6,0 ⁽²⁾	Veículo conectado/ pode receber energia/ área <i>indoor</i> que não necessita de ventilação
Estado D	3,0 ⁽²⁾	Veículo conectado/ pode receber energia/ área <i>indoor</i> que necessita de ventilação
Estado E	0	O EVSE foi desconectado, infraestrutura de potência indisponível ou outro problema no EVSE
Estado F	-12,0 ⁽¹⁾	O EVSE não está disponível, ou outro problema no EVSE

1. Tensão estática.

2. Porção positiva da onda quadrada com 1kHz, medida após a transição de estado estar completa.

3. A transição entre o estado A e B, começa com uma tensão estática DC que transita para um PWM assim que o EVSE detete o estado B.

A Tabela 11 define os parâmetros do circuito piloto, de acordo com a Figura 14, onde está representado o circuito equivalente do controle piloto.

Tabela 11- Parâmetros do circuito do piloto do lado do EVSE, associado à Figura 14 [35]

Parâmetro ⁽¹⁾	Símbolo	Unidades	Valor Nominal	Valor Máximo	Valor Mínimo
Gerador de Sinal					
Tensão positiva, circuito aberto	Voch	Volts	12	12,60	11,40
Tensão negativa, circuito aberto	Vocl	Volts	-12	-12,6	-11,40
Frequência	Fo	Hertz	1000	1020	980
Largura do pulso ⁽²⁾	PWM	Microseg.	Em função do duty cycle	nominal, + 25µs	nominal, - 25µs
Tempo de subida ⁽³⁾	Trg	Microseg.	n.a.	2	n.a.
Tempo de descida ⁽³⁾	Tfg	Microseg.	n.a.	2	n.a.
Tempo de apuramento do estado ⁽⁴⁾	Tsg	Microseg.	n.a.	3	n.a.
Componentes de saída					
Resistência de fonte equivalente	R1	Ohms	1000	1030 ⁽⁵⁾	970 ⁽⁵⁾
Capacidade equivalente total do EVSE, excluindo o cabo	C1	Picofarads	n.a.	n.a.	300 ⁽⁶⁾
Capacidade equivalente total do EVSE, incluindo o cabo	C1 + CC	Picofarads	n.a.	3100	n.a.

1. Tolerâncias a serem mantidas dentro das condições ambientais e vida útil especificada pelo fabricante.

2. Considerando um *dutycycle* de 50%.

3. De 10% para 90% da transição completa negativa para positiva ou de 90% para 10% da transição completa positiva para negativa medida entre o gerador de sinal e a resistência R1. Notar que o termo gerador de sinal se refere ao circuito do EVSE, antes da condução através da resistência de 1k Ω , com uma onda quadrada de $\pm 12V$. Este circuito deve ter tempos de subida/descida inferiores a 2 μ seg. Se os tempos de subida/descida forem superiores a isso começa-se a adicionar visivelmente aos tempos de subida/descida do *output* dedicados pela resistência de 1k Ω e toda a capacidade na linha do piloto.

4. A 95% do valor do estado estável, medido desde o início da transição.

5. Valores máximos e mínimos das resistências são de $\pm 3\%$ sobre o nominal.

6. Garante que o tempo de subida é lento o suficiente para remover os efeitos da linha de transmissão do cabo.

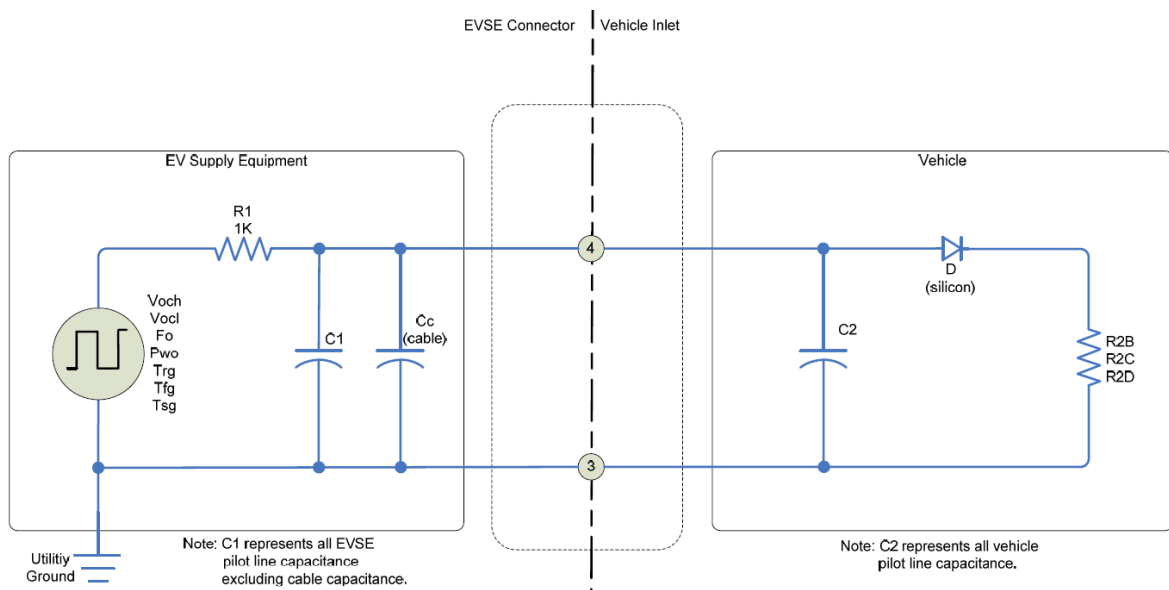


Figura 14- Circuito equivalente do controle do piloto [35]

Na Norma, são também definidos os parâmetros do circuito do VE, como são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12-Parâmetros do circuito piloto do lado do VE, associado à Figura 14

Parâmetro ⁽¹⁾	Símbolo	Unidades	Valor Nominal	Valor Máximo	Valor Mínimo
Carga equivalente- Estado B	R2B	Ohms	2740	2822 ⁽²⁾	2658 ⁽²⁾
Carga equivalente- Estado C ⁽³⁾	R2C	Ohms	882	908 ⁽²⁾	856 ⁽²⁾
Carga equivalente- Estado D ⁽⁴⁾	R2D	Ohms	246	253 ⁽²⁾	239 ⁽²⁾
Capacidade equivalente total	C2	Pico Farads	n.a.	2400	n.a.
Queda de tensão equivalente no díodo ⁽⁵⁾	Vd	Volts	0,7	0,85	0,55

1. Tolerâncias a serem mantidas dentro das condições ambientais e vida útil especificada pelo fabricante
2. Valores máximos e mínimos das resistências são de $\pm 3\%$ sobre o nominal
3. Veículos não requerem ventilação para carregamento em áreas *indoor*.
4. Veículos requerem ventilação para carregamento em áreas *indoor*.
5. Pequeno díodo de sinal de silicone, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, corrente de condução entre 2,75 e 10,0 mA.

3.3.1. FUNÇÕES DO CONTROLO PILOTO

O controlo piloto providencia as seguintes funções:

1. Verificação da conexão do veículo:

O EVSE tem a capacidade de determinar quando o conector está corretamente inserido no VE através da resistência R3, representada na Figura 13. O díodo D, representado na mesma figura, tem o propósito de auxiliar o EVSE a determinar que o VE está conectado, em vez de uma outra carga de baixa impedância.

2. EVSE preparado para fornecer energia:

O EVSE indica ao VE que está pronto para fornecer energia quando substitui o sinal de 12V DC pelo PWM. Neste momento o EVSE não deverá fechar os contactores de potência. Em todos os estados descritos na Figura 13, o EVSE apenas deverá fornecer através do piloto sinais DC ou sinais de onda quadrada. Contudo, o gerador de sinais só estará em funcionamento nos estados B, C ou D. Sinais oscilatórios noutros estados só deverão ser transitórios.

3. VE prepara para receber energia:

O VE indica que está pronto para aceitar energia do EVSE através do fecho do *switch* S2, representado na Figura 13. O VE poderá solicitar ao EVSE a abertura do contactor de potência a qualquer instante, através da abertura do *switch* S2.

4. Determinação de ventilação para carregamento *indoor*:

O EVSE pode determinar se o EV requer ventilação para carregamento *indoor*, através da tensão especificada para o estado D, apresentado na Tabela 10. Se requerido, o EVSE vai providenciar um sinal para ligar o sistema de ventilação de carregamento *indoor*.

5. O EVSE comunica ao EV a sua capacidade máxima de fornecimento de energia através da modulação do *duty cycle* do PWM que cicula no controlo piloto. A modulação do *duty cycle* é descrita pormenorizadamente no subcapítulo 2.1.3.

O conjunto EVSE + VE não deverá exceder a tolerância máxima no piloto de $\pm 2\%$. Esta tolerância é distribuída com $\pm 0,5\%$ para o EVSE e $\pm 1,5\%$ para o EV. No caso de intervalos sobrepostos, o estado válido, tem precedência sobre o estado de erro.

3.3.2. REGULAÇÃO DA POTÊNCIA DE CARGA

Como referido no ponto 5 do subcapítulo 3.3.1, o VE determina a capacidade de fornecer energia do EVSE através da percentagem de *duty cycle* que recebe. Contudo a percentagem de *duty cycle* pode determinar também a necessidade de comunicações digitais.

O comando digital de comunicações deve ser interpretado pelo EV quando deteta um PWM com *duty cycle* de $5\% \pm$ a tolerância. Esta comunicação deve ser estabelecida antes do carregamento. É requerida para carregamento DC e opcional para carregamento AC nos modos 2 e 3. Existem normas específicas para este propósito que definem mais funcionalidades através do piloto e também permitem comunicação bidirecional entre o EV e o EVSE.

A corrente mínima de carregamento é de 6A, o que equivale a um *duty cycle* de 10%, de acordo com a Figura 15. Desta forma todos os valores de *duty cycle* abaixo de 10%, excluindo a percentagem de 5% para comunicações digitais, são inválidos e por isso o VE

não dá ordem de carregamento. O mesmo acontece para percentagens de *duty cycle* iguais ou superiores a 97%.

Para percentagens entre 10% e 85% a corrente elétrica é calculada através da seguinte fórmula:

$$\text{Corrente disponível} = (\% \text{ duty cycle}) \times 0,6.$$

Para percentagens entre 85% e 96% a fórmula é a seguinte:

$$\text{Corrente disponível} = (\% \text{ duty cycle} - 64) \times 2,5.$$

A informação descrita nos parágrafos anteriores é apresentada resumida na Figura 15 e na Tabela 13.

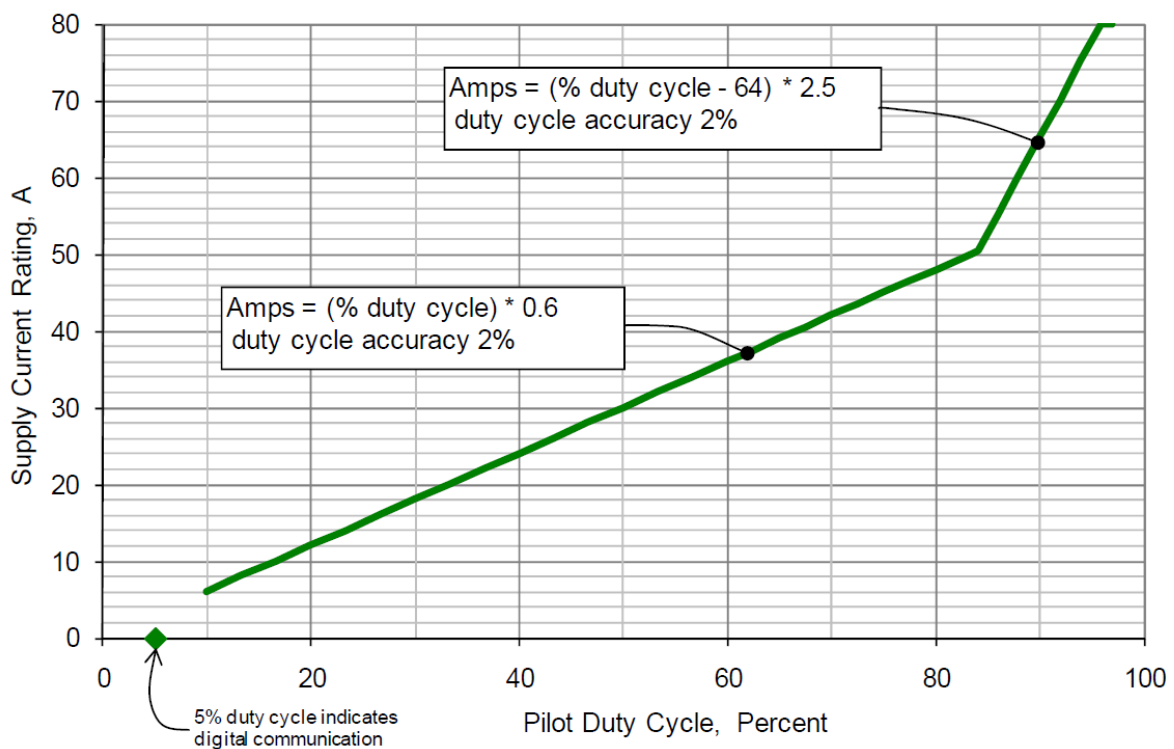


Figura 15- Percentagem de *duty cycle* versus corrente elétrica fornecida (A) [35]

Tabela 13- Interpretação do *duty cycle* por parte do EV, considerando uma tolerância de $\pm 2\%$ [35]

Interpretação do <i>dutycycle</i> pelo VE	Solicitação máxima do corrente por parte do VE
<i>Duty Cycle</i> < 3%	Erro, não é permitido carregamento
3% ≤ <i>Duty Cycle</i> ≤ 7%	Indica que é necessária comunicação digital
7% ≤ <i>Duty Cycle</i> ≤ 8%	Erro, não é permitido carregamento
8% ≤ <i>Duty Cycle</i> ≤ 10%	6A
10% ≤ <i>Duty Cycle</i> ≤ 85%	Corrente disponível= (% <i>duty cycle</i>) x 0,6.
96% ≤ <i>Duty Cycle</i> ≤ 97%	Corrente disponível= (% <i>duty cycle</i> - 64) x 2,5
<i>Duty Cycle</i> > 97%	Erro, não é permitido carregamento

3.3.3. TEMPOS DE RESPOSTA DO EVSE

Na norma SAE J1772, são definidos os tempos máximos de resposta para o EVSE e para o VE, em função dos diferentes cenários. Na Tabela 14 são apresentadas as diferentes alterações de estado e o respetivo tempo máximo de atuação do EVSE.

Tabela 14- Especificação dos tempos de resposta do EVSE [35]

Nº da condição	Condição inicial (1)(2)(3)	Nova condição	Tempo máximo de reposta do EVSE	Especificação da condição
1	Estado= x OSC= off	Estado= x OSC= on	Não tem limite	Tempo em que o EVSE tem de ativar o gerador de sinal.
2	Estado= x OSC= off	Estado= A OSC= x	100 ms	Tempo de abrir o relé de potência depois do conector ter sido retirado do VE.
3	Estado= x OSC= on	Estado= A OSC= off	2 s	Tempo de desligar o gerador de sinal depois do conector ter sido retirado do VE.
4	Estado= B OSC= on	Estado= C ou D OSC= on	3 s	Tempo entre a ordem de carga pelo EV e o fecho do relé de potência.
5	Estado= C ou D OSC= on	Estado= B OSC= on	3 s	Tempo entre a ordem de paragem de carga pelo VE e a abertura do relé de potência.
6	Estado= x OSC= x	Estado= E ou F OSC= x	3 s	Tempo entre a emissão pelo EVSE de um sinal de piloto inválido e o término da transferência de energia.

1. Estado atual da tensão do piloto e estado do VE, de acordo com a Tabela 10

2. OSC= off, para o gerador de sinal de onda quadrada desligado, OSC= on, para o gerador de sinal de onda quadrada ligado
3. x no estado, indica qualquer condição ou estado desconhecido

Cada uma das condições apresentadas na Tabela 14 é descrita nos seguintes pontos:

1. Quando o EVSE coloca o PWM no pino piloto significa que está apto a fornecer energia. Independentemente do estado de transição não há nenhuma restrição temporal para o início efetivo do carregamento;
2. A transição de qualquer estado para o estado A significa que o conector foi retirado do VE. Por questões de segurança é importante interromper rapidamente o fornecimento de energia;
3. Depois de uma transição de qualquer estado para o estado A, o EVSE deverá desligar o gerador de PWM. Com o propósito de filtrar o tipo de situação, o EVSE não pode desligar o gerador de PWM imediatamente. O conector poderá ser reintroduzido imediatamente no VE e poderá ver o estado C ou D com o gerador de PWM ativo, mas sem energia nos terminais de potência;
4. Depois do VE fechar o *switch 2* (S2), representado na Figura 13, como o propósito de solicitar o fecho dos contactores de potência, o VE poderá esperar o tempo máximo específico para fecho do contactor;
5. Depois do VE abrir o *switch 2* (S2), com o propósito de terminar/interromper o carregamento, o EVSE dispõe no máximo de 3 segundos para efetuar a abertura dos contactores de potência;
6. No caso do EVSE estar a obter medidas do pino piloto que requeiram a interrupção do fornecimento de energia, o EVSE tem de abrir o contactor em menos de 3 segundos, através do envio de um sinal pelo pino piloto que evite que o VE volte a solicitar energia nesses instantes.

3.3.4. CIRCUITO DE PROXIMIDADE

O circuito de proximidade permite ao VE identificar quando o conector foi ligado e através desta informação executar ações, como por exemplo ativar o *interlock*, que bloqueia o conector ao VE por meio de solenoides. Este aspecto impossibilita a remoção do conector durante o carregamento, evitando arcos elétricos e possíveis danos materiais e/ou pessoais. [35]

Como descrito no ponto 3.4, o conector escolhido para este projeto é o conector do tipo 2. Para o VE detectar a presença do conector, este dispõe de uma resistência entre os pinos da terra de proteção e o pino de proximidade. Desta forma, assim que se colocar o conector no veículo, existirá uma queda de tensão no ponto assinalado como “Sense” na Figura 16. Este ponto é monitorizado constantemente pelo veículo e em função desta medição o VE identifica ou não a presença do conector. [33]

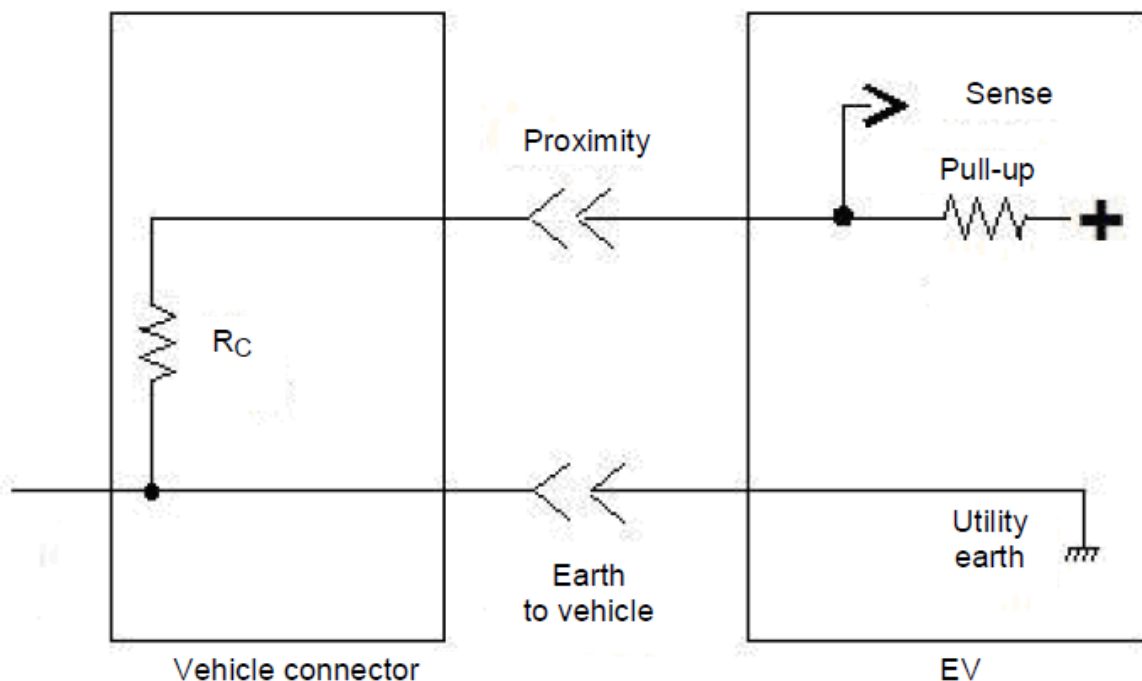


Figura 16- Esquema do circuito de proximidade num conector do tipo 2 [33]

Além da detecção do conector, o valor da resistência “RC”, identificada na Figura 16, permite também ao VE identificar qual é a capacidade de transmissão de corrente elétrica da assemblagem (cabo + conector). Para cada valor de resistência, o VE mede uma tensão diferente no ponto de medição “Sense”, correspondente a cada capacidade de assemblagem, de acordo com a Tabela 15. [33]

Tabela 15- Código de resistências para os conectores [33]

Capacidade da assemblagem do cabo (A)	Valor da Resistência Equivalente (Ω) Tolerância de $\pm 3\%$ ^c
13 A	1,5 k Ω 0,5 W ^{a,b}
20 A	680 Ω 0,5 W ^{a,b}
32 A	220 Ω 0,5 W ^{a,b}
63 A (trifásico) / 70 A (monofásico)	100 Ω 0,5 W ^{a,b}

^a A potência de dissipação da resistência, causada pela detecção do circuito não deve ser superior a 0,5 W.

^b As resistências para este propósito, deverão preferivelmente falhar em circuito aberto. As resistências de filme metálico geralmente apresentam boas propriedades para esta aplicação.

^c As tolerâncias devem ser mantidas durante todo o período de vida útil das resistências, dentro das condições especificadas pelo fabricante.

Para este projeto, como é definida uma potência máxima de 7kW, que equivale a cerca de 30A, será utilizada uma resistência 220 Ω e 0,5W, correspondente a uma capacidade máxima de 32A.

3.3.5. SEQUÊNCIA TÍPICA DE ESTADOS NUM CICLO DE CARREGAMENTO

O processo de carregamento deverá começar sequencialmente de acordo com os passos descritos abaixo, e com início no momento em que o conector é inserido no VE:

- O pino de proximidade permite ao VE identificar a ligação do conector e ativa o *interlock* de bloqueio.
- O EVSE verifica se a conexão com o EV foi detetada, através da detecção da mudança do estado A para o estado B. Com esta mudança de estado, o EVSE ativa o gerador de PWM.

- c. O EVSE indica que está pronto a fornecer energia, quando envia o PWM com as devidas características no pino piloto.
- d. O EV indica que está pronto a receber energia, quando fecha o *switch* 2 (S2), representado na Figura 13. Nesta altura o EVSE deverá assumir o estado C.
- e. O EVSE determina que a terra de proteção do equipamento está convenientemente conectada ao *chassis*, através da deteção da componente positiva do PWM recebido correspondente aos estados B,C e D, enquanto que a componente negativa permanece nos -12V.
- f. O EVSE determina que o conector está efetivamente ligado a um VE através da identificação da presença do díodo. Este díodo garante a componente negativa do sinal se mantem sempre nos -12V, de acordo com o intervalo descrito na Tabela 11.
- g. O EVSE determina se é necessária ventilação *indoor* ou não. Se a ventilação no carregamento *indoor não é requerida*, então esta alínea não necessita de ser considerada. Se a área de carregamento *indoor* requerer ventilação, então podem existir 3 condições que corresponderão às seguintes respostas do EVSE:
- Condição 1- Se o EVSE está preparado para carregamento *indoor*, liga o sistema de ventilação e prossegue para a alínea seguinte;
 - Condição 2- Se o EVSE está preparado para carregar no exterior todos os veículos, prossegue para a alínea seguinte;
 - Condição 3- Se o EVSE está preparado para veículos que não requeiram ventilação no carregamento *indoor*, termina o processo e não permite o fornecimento de energia ao veículo.
- h. O VE determina a corrente elétrica do EVSE de acordo com 1 das 3 condições, através da medição do *duty cycle* do sinal e prosseguem de acordo com os passos abaixo (Ver item 3.3.2):
- Se o *duty cycle* do piloto estiver entre 10% e 96%, calcula a corrente elétrica disponível do *duty cycle* e prossegue para a próxima alínea;

- Se o *duty cycle* do piloto estiver entre 3% e 7%, calcula a corrente elétrica disponível através do comando digital de comunicações e prossegue para a próxima alínea;
 - Se o comando digital de comunicações não poder ser estabelecido como descrito no ponto acima, o processo deverá terminar e deverá ser evidenciado ao utilizador pelo EVSE uma situação de erro.
- i. O EVSE deverá agora começar a fornecer energia, fechando o contactor de potência.
 - j. O pino piloto deverá ser monitorizado e a corrente de carga ajustada em conformidade, continuamente durante o período de carregamento. Se o PWM do piloto for perdido ou a componente positiva do pulso estiver fora do alcance definido, o EVSE deverá terminar o processo de carregamento através da abertura do contactor de potência e desligando o gerador de PWM. O EVSE deverá também evidenciar ao utilizador uma situação de erro.
 - k. Para terminar o processo de carregamento, o utilizador deverá interromper o processo através do EVSE e/ou remover o conector do VE.

3.4. CARACTERÍSTICAS DA ASSEMBLAGEM DO CABO

O dimensionamento desta assemblagem é um caso muito específico e por isso tem determinados parâmetros a serem cumpridos. Entre os 3 casos possíveis de conexão entre o EV e o EVSE, descritos no ponto 2.1.2, neste projeto será implementado o tipo de conexão do caso C, onde o cabo está permanentemente ligado ao EVSE e na outra extremidade encontra-se o conector. Este tipo de conexão é utilizado em todos os equipamentos apresentados no ponto 2.2 e na maioria dos equipamentos presentes no mercado.

O conector escolhido para este projeto é o IEC 62196- Tipo 2, pois, é um conector aceite pela união europeia e além disso é o mais comum entre os VEs atualmente, derivado das suas versatilidades.

Relativamente ao cabo, este deve ter as seguintes características:

- Cabo flexível;
- O cabo poderá ser protegido por uma malha metálica envolvente conectada à terra de proteção;
- O isolamento do cabo deve ser resistente ao ambiente e manter a flexibilidade durante a exposição à gama de temperaturas a que está sujeito;
- As características mecânicas do cabo devem ser equivalentes ou superiores às descritas na norma IEC 60245-6, ao nível de resistência ao fogo, resistência química e resistência UV;
- A força de ancoragem do cabo ao conector deve ser superior à do *interlock* ao VE;
- Todas as assemblagens de cabos devem conter requerimentos *outdoor*.

Para segurança pessoal e de forma a evitar acidentes durante a desconexão durante a passagem de corrente elétrica, o conector e a tomada devem ter capacidade de corte suficiente. A capacidade aceitável é considerada através do uso de um contactor AC22A, como definido na IEC 60947-3. Contudo a quebra de ligação durante a passagem de corrente deve ser evitada através do uso do *interlock*, uma vez que o VE não desbloqueará, em condições normais, o conector durante a passagem de corrente elétrica.

O Índice de Proteção (IP) mínimo dos conectores e assemblagem para *indoor*, com o conector inserido na tomada do VE é de IP21, para *outdoor*, nas mesmas condições é de IP44. A assemblagem do cabo, independentemente de ser *indoor* ou *outdoor*, tem um requerimento mínimo de IP24. [33]

Num carregamento monofásico, o cabo tem pelo menos 5 condutores, condutores esses que devem cumprir com as dimensões especificadas na Tabela 16.

Tabela 16- Secção dos condutores do cabo [35]

Função	Secção mm²	Corrente (A)	Tensão V
Linha 1	10 mm ²	Até 80A	300 VAC
Neutro	10 mm ²	Até 80A	301 VAC
Terra de Proteção	6 mm ²	Medida por defeito	-
Piloto	2 mm ²	2A	30 VDC
Circuito de proximidade	2 mm ²	2A	31 VDC

4. CONTROLADOR DE CARGA

Neste capítulo é feita uma descrição dos objetivos e aplicabilidade do protótipo, assim como é descrito de que forma foi executado o projeto ao nível de hardware e de software.

4.1. DESCRIÇÃO GERAL

Posteriormente ao estudo e análise de mercado desenvolvido nos capítulos anteriores, foi desenvolvido um protótipo de um controlador de carga AC para veículos elétricos que permite carregar o VE com uma corrente variável entre 6 e 30A, calculada em função dos valores de capacidade das baterias do VE, percentagem da bateria atual e tempo que pretende ter o VE em carregamento, uma vez que a aplicabilidade deste equipamento se enquadra num contexto empresarial ou institucional (EI), onde a maioria dos utilizadores têm o seu veículo estacionado longos períodos de tempo (tipicamente cerca de 8 horas). Para o utilizador, este tipo de carregamento será proveitoso do ponto de vista em que no final do seu trabalho terá o carro com a bateria completamente carregada, sem lhe proporcionar períodos de espera e poderá ainda usufruir de tarifas mais atrativas do que na sua habitação, uma vez que as EIs, pela sua dimensão e consumo conseguem adquirir energia a tarifas mais satisfatórias. Para a EI é também satisfatório pois proporciona um serviço “extra” aos seus colaboradores e uma vez que poderá aumentar o consumo energético terá ainda mais capacidade de negociação dos valores das tarifas. A EI tem também interesse que a maioria dos colaboradores carregue os seus VEs durante o maior período de tempo possível, para obter a menor potência de consumo instantâneo e proporcionar um maior número de EVSEs disponíveis para os colaboradores, com a mesma potência contratada.

4.1.1. REQUISITOS PREDEFINIDOS

O principal objetivo deste projeto centra-se em desenvolver um protótipo funcional de um EVSE que carregue apenas em AC monofásico e que seja limitado a uma potência máxima de 7 kW (cerca de 30A), por forma a seguir a ideologia descrita no texto introdutório do ponto 4.1.

Uma vez que o protótipo estará acessível a qualquer utilizador da EI em questão, será necessária a implementação de um sistema de identificação do utilizador, como por exemplo o RFID, desta forma poderão também ser posteriormente debitados os custos relacionados com os carregamentos efetuados por esse utilizador. Para possibilitar a contabilização de energia consumida é necessário implementar um equipamento que forneça medidas de tensão (pelo menos até 250V AC) e corrente (até 30A), para, através destas medições se calcularem os valores de energia consumida por cada utilizador. Para possibilitar carregamentos a diferentes potências e que garantam que a bateria do VE fique completamente carregada no período temporal definido pelo utilizador, é necessário desenvolver uma interface onde possam ser apresentadas e consultadas informações pelo utilizador, como a estimativa de custo, estado de ligação com ao VE, custo total e energia consumida. Deverá também existir uma forma de importação/exportação de informação relativa aos carregamentos através de uma ligação à internet.

É necessário desenvolver um circuito de potência que permita ser acionado através do circuito de comando por meio de um relé ou contactor e garanta os padrões de segurança para a potência que lhe vai ser administrado, nomeadamente uma proteção diferencial adequada e uma proteção contra sobrecargas ou curto-circuitos.

O protótipo deverá estar inserido numa caixa, por forma a que possa garantir uma fácil e intuitiva utilização assim como condições de utilização sem qualquer perigo de eletrocussão ou outro.

4.2. HARDWARE

4.2.1. MICROCONTROLADOR

O controlo de um projeto desta ordem centra-se essencialmente nas capacidades no microcontrolador, daí, que antes de se dar início ao protótipo seja necessária a seleção do microcontrolador que melhor satisfaça as necessidades do projeto.

Neste projeto, com o estudo já desenvolvido nos capítulos anteriores, já se sabem quais são as capacidades requeridas:

- Geração de PWM;
- Leitura de sinais analógicos;
- Entradas e saídas digitais;
- Compatibilidade com o protocolo de comunicação *Serial Peripheral Interface (SPI)*;
- Compatibilidade com o protocolo de comunicação *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)*;
- Contenha placa de rede integrada para comunicação *Wi-fi*;
- Disponha de entradas e saídas suficientes para integrar todos os equipamentos num só microcontrolador.

Para satisfazer todas estas necessidades, foi sugerido pelo Prof. Orientador, o microcontrolador ESP32, pois, além de conter todos os requisitos necessários, este é um equipamento economicamente muito acessível, permite ser programado em diversos ambientes de programação e existem diversas placas de desenvolvimento com este *chip* integrado, com diferentes formatos e aplicações.

Para este projeto foi selecionada a placa de desenvolvimento ESP32 DEVKIT V1 apresentada na Figura 17.



Figura 17- ESP32 DEVKIT V1

Esta placa de desenvolvimento não dispõe de todas as capacidades do *chip* ESP32, contudo disponibiliza os requisitos necessários para este projeto. Na Figura 18 são apresentadas as capacidades de cada pino desta placa de desenvolvimento. [36]

Para este projeto toda a programação do microcontrolador foi efetuada através do software de programação Arduino IDE.

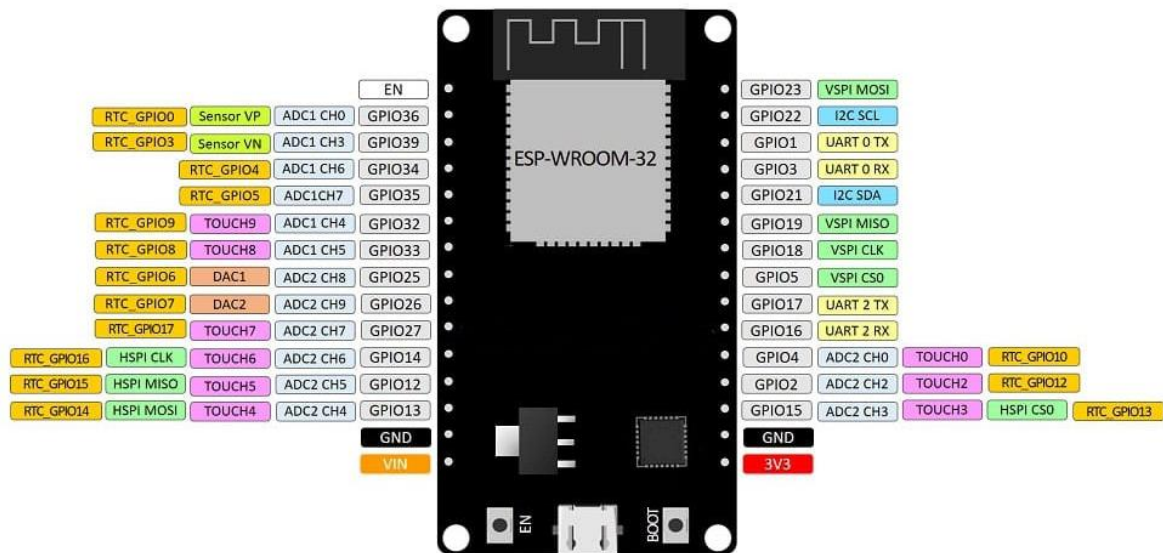


Figura 18- Identificação de entradas e saídas do ESP32 DEVKIT V1

4.2.2. CIRCUITO DE COMUNICAÇÃO COM O VE

Como descrito no capítulo 3.3, a comunicação entre o EVSE e o VE baseia-se na modulação de um sinal que circula no condutor “piloto”. Esta modulação oscila essencialmente entre uma tensão DC de 12V ou 0V e um PWM. Os 12V DC surgem no estado “Veículo não conectado”, identificado no estado A da Tabela 10. O PWM surge nos estados B,C e D, também identificados na Tabela 10. Para diferenciar os estados, o PWM assume diferentes amplitudes, e ainda diferentes *duty cycle* que permite ao EVSE informar o VE que corrente elétrica pretende disponibilizar.

Para se dar início ao circuito de comunicação com o VE são necessários três pontos essenciais:

- Ter a capacidade de fornecer ao VE 12V DC e criar um PWM que oscile entre o +12V/-12V à frequência de 1kHz;
- Capacidade de medição do sinal presente no controlo piloto, em qualquer um dos estados ou *duty cycle*;

- Capacidade de alternar entre o sinal 12V DC e o PWM, em função das medições obtidas.

O ESP32, através de qualquer *general-purpose input/output* (GPIO) pode criar um PWM. Neste projeto foi selecionado o GPIO 25, e tal como definido pela SAE J1772, é atribuído a este PWM uma frequência de 1kHz. Foi escolhido o canal 0 entre os 16 disponíveis (de 0 a 15) e entre as 16 resoluções disponíveis foi escolhida a resolução de 8 *bits* que proporciona um *duty cycle* de 0 a 100% usando os valores entre 0 a 255. Uma vez que o *chip* ESP32 apenas tem uma tensão de entrada de 3,3V, a maior tensão de pico a pico de sinal que pode disponibilizar é de 3,3V. Desta forma foi necessário amplificar este sinal para obter o PWM desejado, com tensões entre os 12V e -12V. Recorreu-se ao *software* PLECS para avaliar esta amplificação de sinal. Este *software* destina-se à simulação de circuitos de eletrónica e eletrónica de potência e possibilita simulações de sistemas completos incluindo fontes de energia, conversores de potência e cargas.

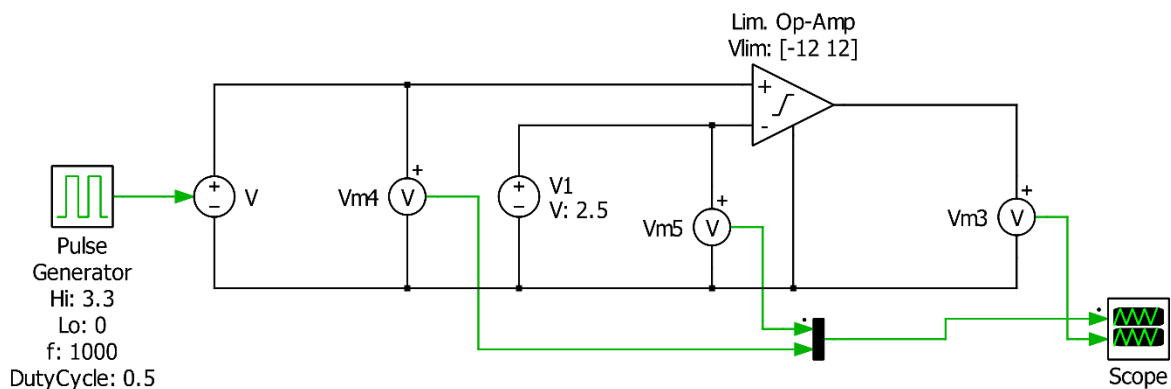


Figura 19- Esquema de simulação da amplificação de sinal

Na Figura 19, está representado o esquema utilizado nesta simulação, através do qual foram obtidas as leituras representadas na Figura 20. Para simular o PWM foi colocado um “Pulse Generator” com as seguintes características: Tensão máx= 3,3V, Tensão mínima=0V, Frequência= 1kHz e para efeitos de simulação foi considerado um *duty cycle* de 50%. Este PWM dá entrada no amplificador operacional (OpAmp) através da porta não inversora (representada com o símbolo “+” no “Lim. Op-Amp” da Figura 19), na entrada inversora (representada com o símbolo “-” no “Lim. Op-Amp” da Figura 19) é colocada uma tensão de 2,5V DC. O facto do PWM ser colocado na entrada não inversora apenas garante que o

sinal não é invertido. Contudo, para o efeito deste projeto não teria relevância se o sinal fosse invertido.

Nesta configuração o OpAmp atua como um comparador, em que compara os dois sinais de entrada, representados no gráfico “Entrada Inversora e Não Inversora” da Figura 20. Uma vez que o OpAmp tem uma alimentação de 12V/-12V, apenas irá obter na sua saída 12V ou -12V, assim, quando o PWM (com $V_{máx} = 3,3V$) é superior a 2,5V DC (entrada inversora) o sinal à saída é de 12V, quando o PWM é inferior a 2,5V DC o sinal à saída do OpAmp é de -12V. Esta descrição é facilmente perceptível comparando os gráficos da Figura 20.

No estado em que é necessário colocar 12V DC no controlo piloto, o ESP32, através de programação, gera o PWM com um *duty cycle* de 100%, que ao ser inserido na entrada não inversora e sendo sempre maior que a tensão de 2,5V da entrada inversora, provoca uma tensão de 12V DC no *output* do circuito integrado LF353N.

Desta forma é obtido o PWM requerido na Norma SAE J1772.

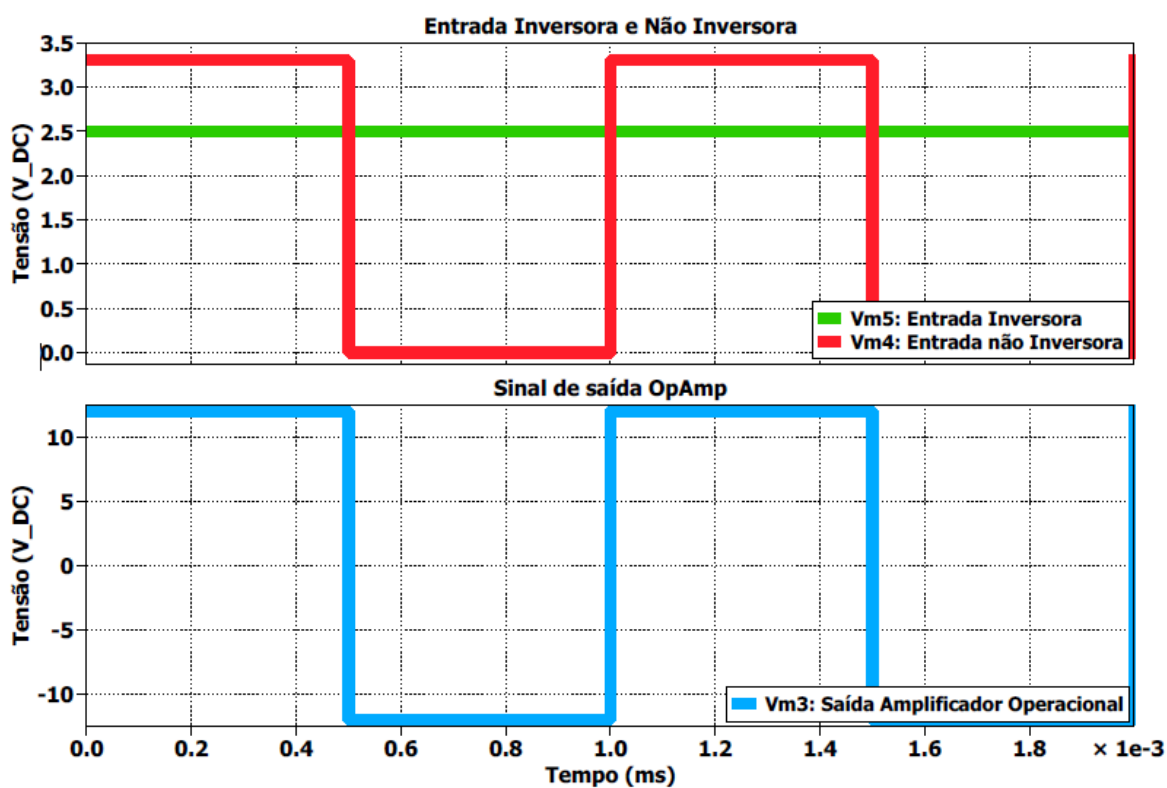


Figura 20 – Sinais à entrada e saída do OpAmp

Para o protótipo foi selecionado o circuito integrado LF353-N que contém 2 OpAmps no seu interior. O seu aspeto físico e esquema de ligação está representados na Figura 21.

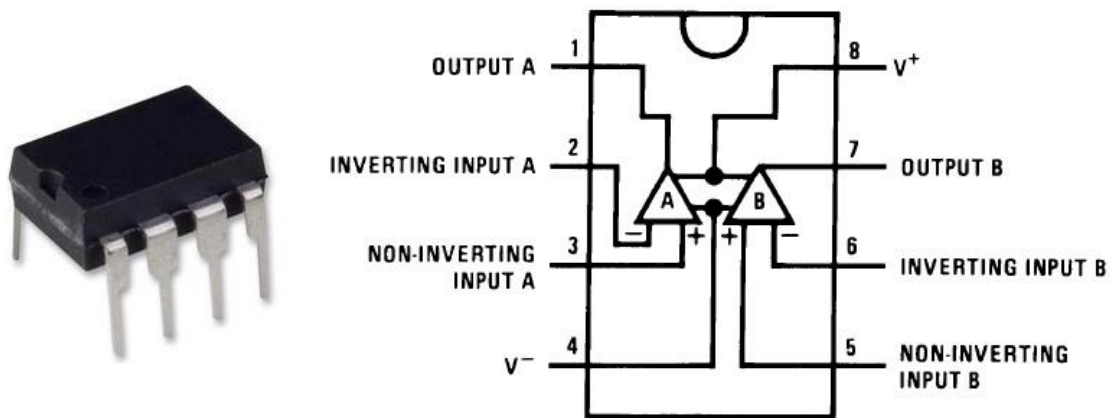


Figura 21- Representação física e esquema de ligações do LF353N

Os requisitos para este OpAmp não são muito complexos, uma vez que apenas é necessário comparar 2 sinais e obter o resultado à saída a variar entre as tensões de alimentação. Desta forma o principal requisito centra-se no intervalo de tensões que poderá admitir na alimentação, uma vez que é necessário um intervalo de pelo menos -12V a 12V. Este circuito integrado suporta uma tensão máxima admissível a variar no intervalo de -18V a 18V. [37]Uma vez que cumpre os requisitos necessários, há boa disponibilidade no mercado e tem um preço acessível, foi este o circuito integrado selecionado.

Como demonstrado na Figura 13, e por forma a cumprir a Norma SAE J1772, é necessário adicionar uma resistência de $1k\Omega$ a jusante do *output* do circuito integrado LF353N. O EVSE só poderá medir o controlo piloto a jusante desta resistência, uma vez que será criado um divisor de tensão entre esta resistência de $1k\Omega$ e as resistências que o VE inserir no circuito, em função dos estados de ligação.

Para monitorizar constantemente o controlo piloto foi utilizada uma das portas *analog-to-digital converter* (ADC) do ESP32, uma vez que deste sinal, o EVSE apenas necessita de monitorizar qual é o valor máximo da tensão, para poder distinguir os diferentes estados de ligação impostos pelo VE ao inserir ou retirar resistências do circuito piloto.

A placa de desenvolvimento ESP32 DEVKIT V1 disponibiliza 15 entradas analógicas com resolução ADC de 12 *bits*. Estas entradas têm algum erro de precisão, principalmente para os valores mais altos de tensão admissível. Por defeito há diferenças de precisão de $\pm 6\%$ entre *chips* ESP32. Ainda que o fabricante disponibilize alguns métodos de calibração, para as medições necessárias para este projeto não é necessária uma precisão tão elevada. [36]

Tal como acontece para o fornecimento do PWM, os pinos ADC apenas têm capacidade para ler tensões entre 0 e 3,3V. Uma vez que as tensões ascendem até aos 12V, é necessário fazer uma redução a esta tensão através de um divisor de tensão. Para o cálculo do divisor de tensão a expressão é obtida da seguinte forma:

$$I = \frac{V}{R} \Leftrightarrow I_1 = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

$$V = I * R \Leftrightarrow V_{out} = I_1 * R_2 \Leftrightarrow V_{out} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} * R_2$$

Na Figura 22 é apresentado e simulado através do *software* PLECS, um esquema de um divisor de tensão, onde é simulado o pior cenário com a tensão do PWM a atingir os 12V DC e que vai ser necessário descer esse valor até aos 3,3V, tensão máxima admissível pela entrada ADC. Para isso definiu-se a tensão máxima de 12V DC (V_{in}), a primeira resistência (R_1) com $1k\Omega$ e a tensão pretendida na saída (V_{out}) de 3,3V DC. Utilizando a fórmula supracitada é possível calcular R_2 , que será de $379,31\Omega$.

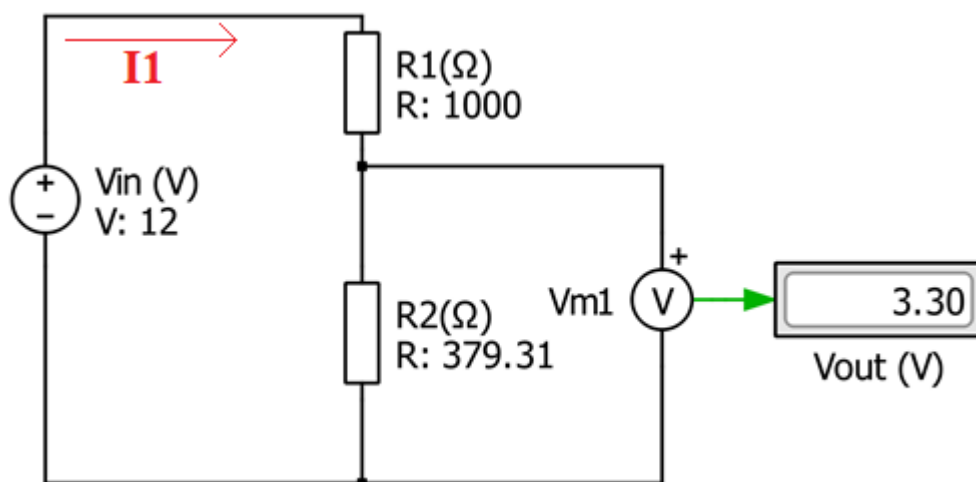


Figura 22- Simulação do divisor de tensão de 12V para 3,3V

Uma vez que o mercado não disponibiliza todos os valores de resistência possíveis, iria ser difícil encontrar um conjunto de resistências que existissem no mercado e obtivessem 3,3V a partir de 12V, para evitar esta situação foi utilizado um potenciômetro, pois permite calibrar a relação de resistências que pretendemos e consequentemente obter qualquer valor de tensão, o que também poderá ser uma mais valia para corrigir a imprecisão do pino ADC do ESP32.

O potenciômetro selecionado foi um RKT-3296 da Kingtronics, pois é um potenciômetro pequeno, tem boa disponibilidade no mercado, é economicamente muito acessível, a alteração do seu valor de resistência implica a utilização de uma chave de fendas adequada, o que é importante para esta aplicação, pois, uma vez que o equipamento esteja afinado, não deverá ser mexido. Dentro do modelo RKT-3296 existem vários formatos e capacidades, neste contexto foi selecionado o potenciômetro de 10k Ω com uma potência máxima de 0,5W a uma temperatura de 70°C. [38]



Figura 23- Aspeto físico do potenciômetro RKT-3296 selecionado

Para o protótipo foi selecionado o GPIO 34, que corresponde à entrada ADC1 CH6 do ESP32 DEVKIT V1. Através da redução de tensão imposta pelo potenciômetro, este pino irá medir tensões entre 0 e 3,3V que correspondem aos 0 a 12V na realidade. Uma vez que a resolução das entradas ADC do ESP32 são de 12 *bits* é necessário fazer a programação considerando o intervalo correspondente entre 0 e 4095.

No estado correspondente ao carregamento é necessário dar uma ordem de 3,3V DC através do ESP32 que estabeleça contacto entre os condutores de potência, que têm de ter capacidade para conduzir 30A a 230V AC. Uma vez que se tratam de níveis de tensão e corrente

completamente dispares, esta ligação é estabelecida em cascata, através de 3 equipamentos diferentes, como se pode ver esquematicamente representado na Figura 24.

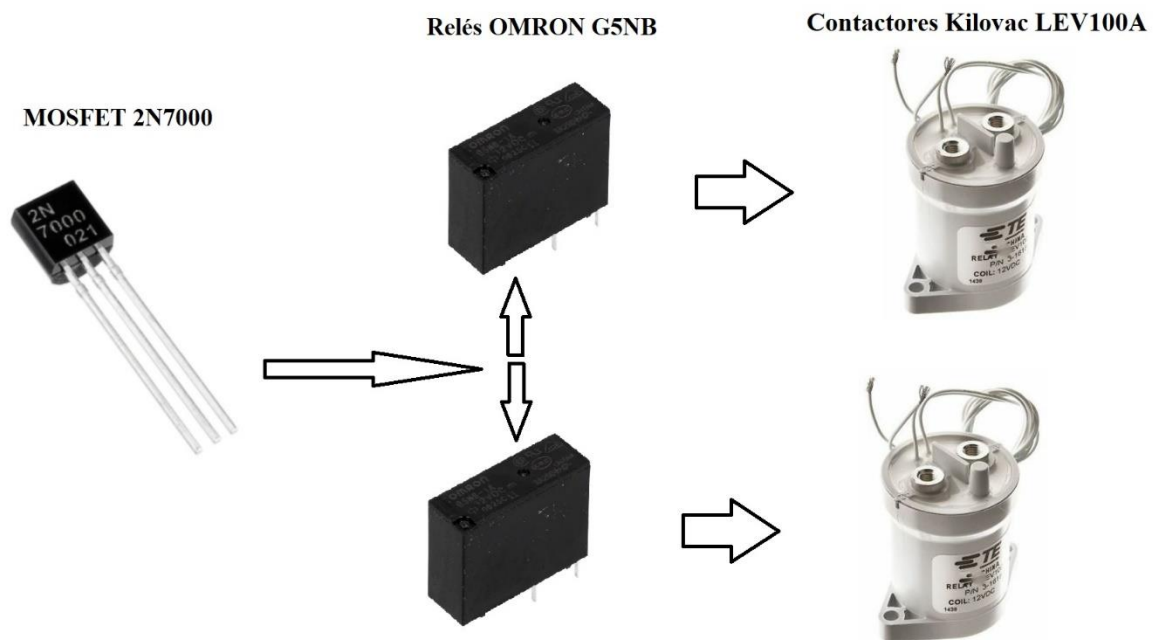


Figura 24- Representação da ordem de fecho dos contactos de potência

Quando o *software* dá ordem de início de carregamento o ESP32 coloca 3,3V DC no GPIO 32, que, atravessando a resistência de gate (25Ω) se ligará à *gate* do *Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect Transistor* (MOSFET). O MOSFET selecionado foi o 2N7000, uma vez que uma das suas aplicações é precisamente circuitos de fornecimento de potência e as suas capacidades adequam-se perfeitamente a este projeto, pois podem assumir tensões máximas entre a *gate* e *source* (V_{GS}) de $\pm 30V$, que permitirá ao MOSFET fechar o circuito entre o *drain* e a *source* (V_{DS}). Entre o *drain* e a *source* pode circular uma corrente até 75mA, nas condições de $V_{GS}=4,5V$, onde esperamos ter 3,3V e $V_{DS}=10V$, onde é esperado que estejam 12V. O somatório da corrente dos dois relés OMRON G5NB é de 33,4 mA, pelo que não haverá qualquer inconveniente desta aplicação. Outro fator relevante é a disponibilidade deste equipamento no mercado a valores acessíveis. Entre os pinos *gate* e

source, como se pode consultar na Figura 25, foi instalada uma resistência de 39k Ω , para evitar que algum tipo de tensão residual ou estática ativasse o MOSFET. [39]

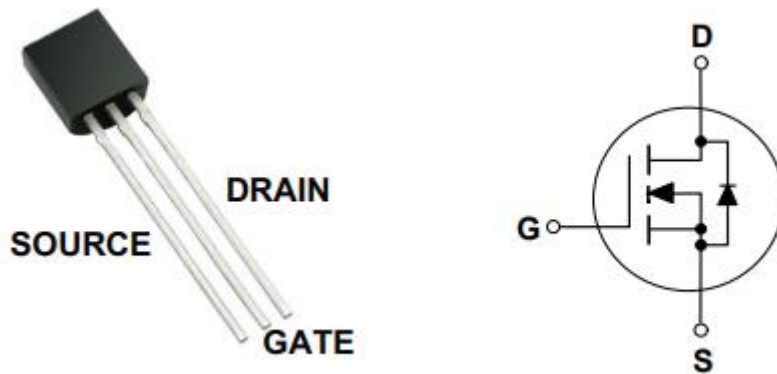


Figura 25- Identificação dos pinos no MOSFET 2N7000 [39]

Assim que o MOSFET fecha o circuito entre o *drain* e a *source*, é conduzida uma tensão de 12V DC até às bobines dos dois relés OMRON G5NB instalados. Estes relés têm bobine de 12V DC e suportam correntes de 3A à tensão máxima admissível em DC de 30V no seu único contacto normalmente aberto (NA). Cada um destes relés teria capacidade para suportar as duas bobines de potência dos contactores, contudo, por uma questão de organização e distinção dos circuitos optou-se por colocar dois relés OMRON G5NB. [40]

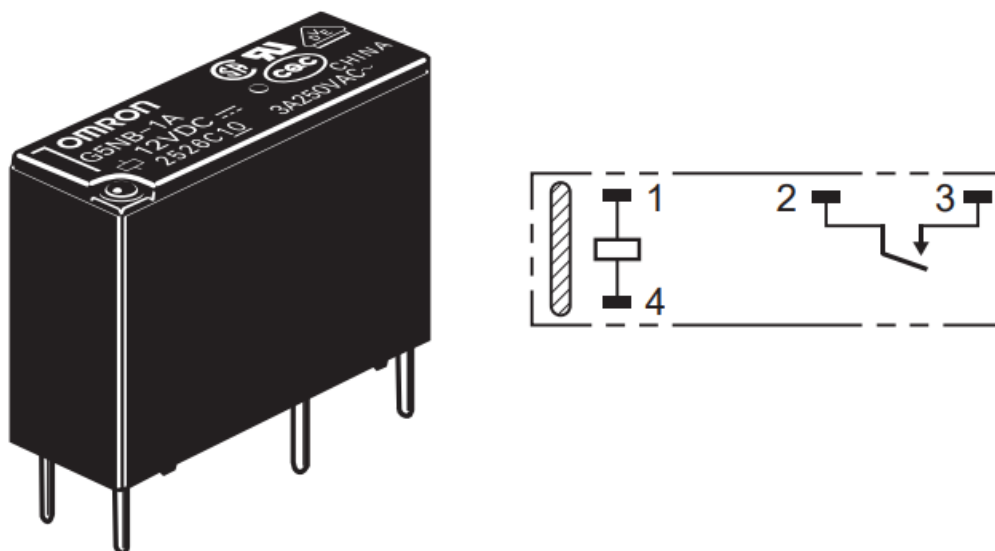


Figura 26- Identificação dos pinos do relé OMRON G5NB

Aos bornes do contacto NA de cada um dos relés OMRON G5NB, serão instalados os condutores das bobines dos contactores de potência, que efetivamente estabelecerão a ligação de potência com o VE. Os contactores utilizados são os Kilovac LEV100, com bobine de 12 VDC e consumo de 461mA por unidade, permitem a condução de 100A por cada unidade. Estes equipamentos incluem a cablagem para ligação à bobine. Nos condutores de potência disponibilizam de um parafuso, onde se poderão instalar os condutores de potências com terminais adequados. O aspeto físico dos contactores é semelhante aos representados na Figura 24.

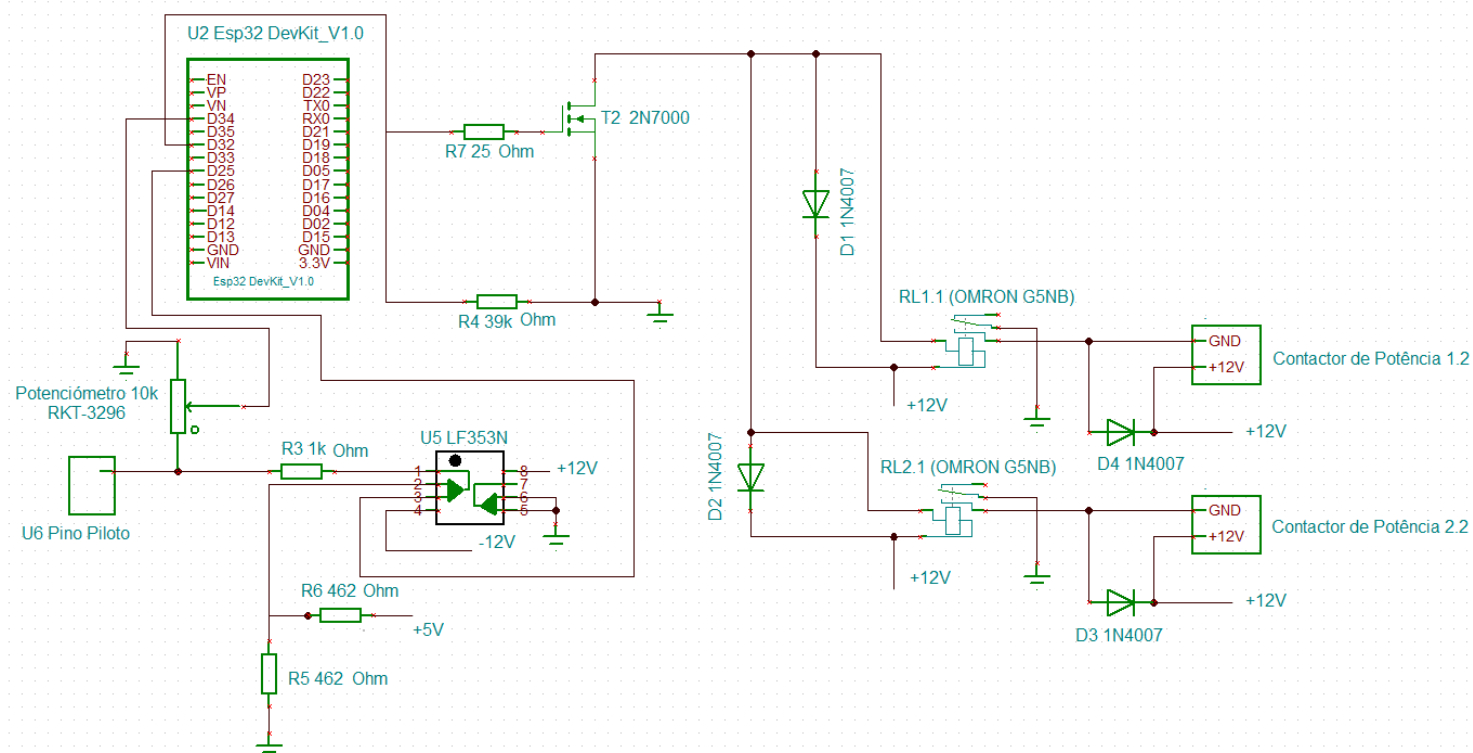


Figura 27- Circuito de comando

Como medida de proteção, em ambos os relés e contactores, foram aplicados aos terminais das suas bobines díodos 1N4007, denominados de *freewhelling diode* (FwD), quando aplicados neste contexto. Previnem picos de tensão quando as alimentações às bobines dos relés são desligadas. Pois, segundo a Lei de Lenz a direção desta tensão será oposta à tensão aplicada na sua utilização normal, e o FwD permite a circulação desta corrente novamente pela bobine, que a acaba por consumir. Caso não seja instalado o FwD, podem resultar danos nos equipamentos a montante, como é o caso neste projeto do MOSFET.

Em sumo, na Figura 27 está representado o esquema de comando que compila todos os aspetos referidos ao longo do ponto 4.2.2. Neste esquema não foram representados os contactores de potência, mas estão representados a ligação aos terminais da sua bobine como “Contactor de Potência 1.2” e “Contactor de Potência 2.2”.

4.2.3. CIRCUITO DE SIMULAÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO

Para possibilitar os testes ao circuito de comando descrito no ponto 4.2.2, foi necessário desenvolver uma forma de se poder testar todos os cenários de comunicação entre o EVSE e o VE sem que efetivamente se ligasse um VE ao circuito, por questões de segurança. Para isso recorreu-se à Tabela 12, de onde se extraíram os valores correspondentes a cada uma das resistências que o VE coloca no circuito piloto, com os valores de $2,74\text{k}\Omega$, 882Ω e 246Ω . Por indisponibilidade de mercado foram utilizadas as resistências disponíveis com os valores mais aproximados de: $2,7\text{k}\Omega$, 881Ω e 243Ω , em que todas elas têm uma tolerância de $\pm 1\%$. Mesmo não sendo os valores ideais de resistência, todas elas se enquadram no intervalo de resistências considerado pela norma SAE J1772, de acordo com a Tabela 12.

Decidiu-se também implementar o díodo representado na Figura 14, uma vez que garante ao EVSE que está efetivamente ligado ao VE e não a uma baixa impedância que o induza em erro. Desta forma, neste circuito de simulação dever-se-á colocar o díodo e um *switch* que possibilite fazer-lhe *bypass*, e neste cenário garantir que o EVSE assume um estado de erro e desliga imediatamente a potência caso se tenha ativado o *switch*. O díodo utilizado foi o díodo 1N4148, uma vez que há boa disponibilidade de mercado e cumpre os requisitos estabelecidos pela norma, indicados na Tabela 12, que são: díodo de silicone, corrente de condução entre 2,75 e 10mA e temperatura de funcionamento entre -40°C e 85°C . Pois o díodo 1N4148 suporta uma corrente de condução máxima de 300 mA e suporta temperaturas entre -65°C e 150°C . [41]

Para facilitar os diferentes testes ao longo do projeto decidiu-se também implementar dois bornes para ligação de um osciloscópio.

Na Figura 28 está representado o esquema do circuito de simulação, foram utilizados 4 *switches* para interromper ou ligar cada uma das resistências ou o díodo. Desta forma é possível simular todos os cenários possíveis, incluindo diversos estados de erro.

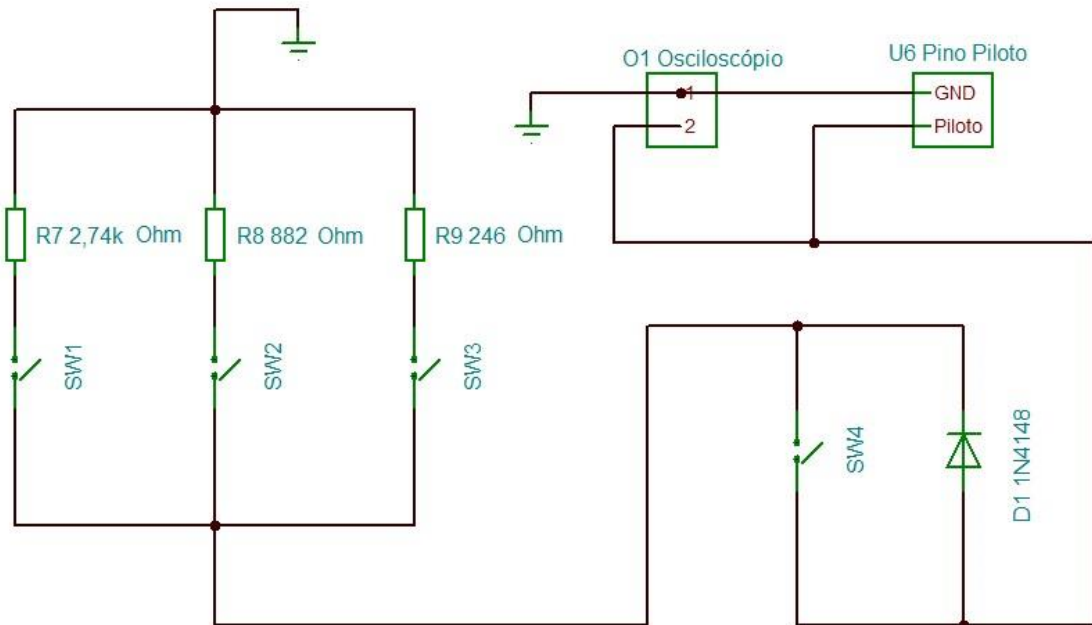


Figura 28- Esquema do circuito de simulação do VE

4.2.4. CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA

Para se poder monitorizar os carregamentos de cada utilizador é necessário saber qual foi a energia que consumiu, para isso é necessário obter leituras de tensão e corrente. Uma vez que não seria fácil desenvolver este circuito, decidiu-se procurar soluções existentes no mercado que pudessem satisfazer as necessidades deste projeto, que eram: medição de tensão até pelo menos 230 VAC, medição de corrente até pelo menos 30A, através destes valores obtenção dos valores de energia consumida e possibilidade de efetuar *reset* ao contador de

energia através de *software*, obtenção do fator de potência e possibilidade de conexão com o ESP32 através de um dos protocolos de comunicação disponíveis como por exemplo o UART ou SPI.

Após alguma pesquisa e análise selecionou-se o módulo PZEM-004T-100A. Este módulo mede a tensão e a corrente. Através destas grandezas tem a capacidade de calcular a potência ativa, frequência, fator de potência e energia. A forma como o PZEM-004T calcula todas as grandezas está demonstrada nos parágrafos abaixo.

A potência ativa é dada pela seguinte expressão:

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^t u(t) * i(t) dt = U * I * \cos(\phi)$$

De onde: U= Tensão *Root-Mean-Square* (RMS), I= Corrente RMS, ϕ = Desfasamento entre a tensão e a corrente.

Uma vez que não é possível medir a tensão e a corrente no tempo, obtém-se o valor da potência através de um conjunto de amostras e dessa forma é calculada a potência ativa:

$$P_a = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) * i(n)$$

De onde: N= número de amostras, u(n)= amostra num determinado instante de u(t) e i(n)= amostra num determinado instante de i(t).

A frequência (Hz) obtém-se através do cálculo do inverso do período (s) de cada ciclo do sinal sinusoidal da tensão, como mostra a expressão abaixo:

$$F = \frac{1}{T}$$

Para se calcular a energia, multiplica-se constantemente à Potência Ativa (P_a) o tempo (h).

Toda esta informação pode ser transmitida entre o PZEM 004T e o ESP32 através do protocolo de comunicação UART. Além de cumprir todos os requisitos técnicos necessários, é também um equipamento economicamente acessível e com bastante disponibilidade de mercado.

Tabela 17- Características de medição do PZEM-004T-100A [42]

	Intervalo de Medição	Início de medição	Resolução	Precisão de medição
Tensão (AC)	80-260 V	-	0,1V	0,5%
Corrente	0-100A	0,02A	0,001A	0,5%
Potência Ativa	0-23kW	0,4W	0,1W	0,5%
Fator de Potência	0-1	-	0,01	1%
Frequência	45-65Hz	-	0,1Hz	0,5%
Energia	0-9999,99kWh	-	1Wh	0,5%

Na Tabela 17 estão representadas as características de medição do PZEM-004T-100A. O intervalo de medição da corrente e conseqüentemente da potência é mais do que suficiente, uma vez que não serão ultrapassados os 30A/7kW. Relativamente às resoluções dos vários parâmetros, nenhuma delas terá um impacto significativo para este projeto, uma vez que são muito baixas.

Na Figura 29, é representado o aspecto físico do PZEM-004T-100A. Ao nível de ligações, este equipamento tem dois pontos distintos de ligações: entrada das medições dos condutores de potência e entrada/saída de comunicações (neste caso com o ESP32).

Uma vez que a versão selecionada para este projeto é a versão com capacidade de medição até 100A, é necessária a aplicação de um transformador de corrente, que neste equipamento já vem incluído e deve-se conectar em dois dos bornes verdes de parafuso representados na Figura 29. Nos restantes dois bornes verdes devem-se ligar 2 condutores em paralelo com a fase e neutro do circuito de potência, para permitir ao equipamento a medição da tensão.



Figura 29- Aspetto físico do PZEM-004T-100A V3

Nos bornes representados a branco da Figura 29, fazem-se as ligações de comando, que neste caso, necessitam de alimentação de 5V DC e ligação à massa comum. Os restantes dois condutores são de comunicação série (*receiver* (RX) e *transmitter* (TX)).

Uma vez que a alimentação do módulo PZEM-004T é de 5V DC e o ESP32 é de 3,3V DC, foi necessário adicionar um MOSFET 2N7000 para adaptar o sinal e garantir a comunicação entre os dois equipamentos.

Na Figura 30 está representado o esquema de comando utilizado para a aplicação do módulo PZEM-004T- 100A .

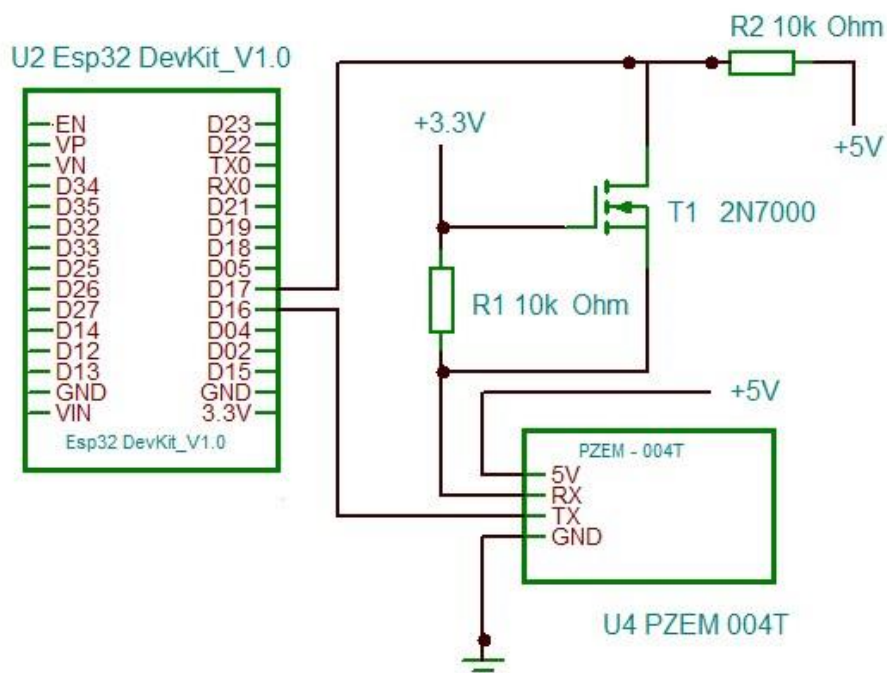


Figura 30- Esquema de ligações PZEM-004T-100A V3

4.2.5. CIRCUITO DO SISTEMA DE RFID

Para possibilitar a identificação do utilizador, foi necessário implementar um sistema RFID. Em bastantes instituições, como é o caso do ISEP, todos os alunos e docentes têm um cartão de identificação que detém a tecnologia RFID.

Desta forma, decidiu-se que a identificação do acesso a este equipamento também utilizaria essa tecnologia. Para isso, foi necessário encontrar um leitor de credenciais RFID compatível com um dos protocolos de comunicação do ESP32 – UART ou SPI.

O equipamento selecionado foi o VMA405 da Velleman, pois é um equipamento acessível no mercado e é um produto específico para utilização com Arduino IDE, que é o software utilizado para programação do ESP32 neste projeto. Este equipamento permite ler e escrever nos cartões RFID, contudo, para este projeto apenas é utilizada a função de leitura. O

protocolo de comunicação é o SPI, que utiliza, além dos dois condutores de alimentação a 3,3V DC, mais 5 condutores: RST, MISO, MOSI, SCK e NSS. [43]

Na Figura 31, está representado o esquema utilizado para a ligação do módulo RFID VMA405 ao ESP32.

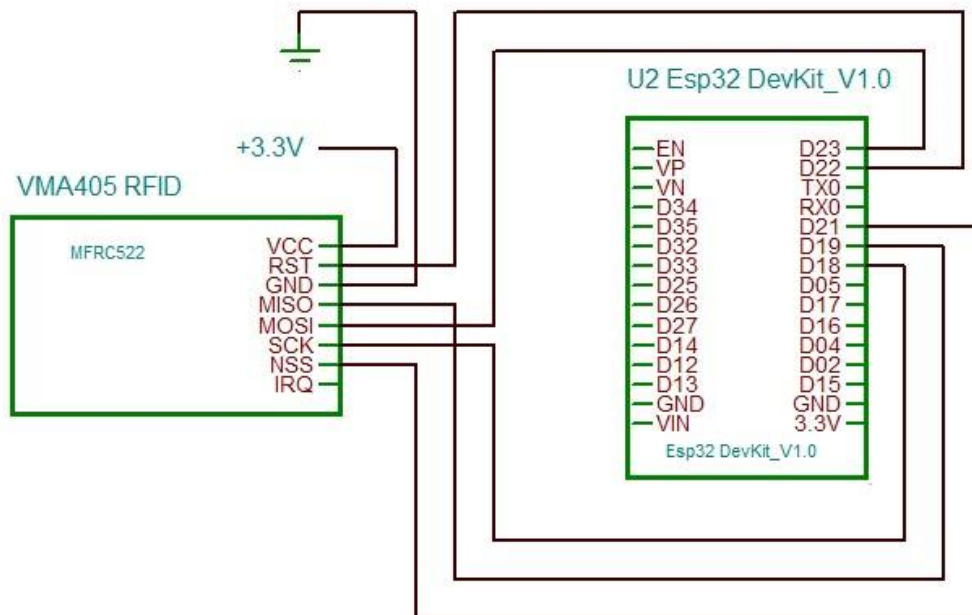


Figura 31- Esquema de ligações módulo RFID VMA405

4.2.6. CIRCUITO DO *DISPLAY TOUCH*

Com todos os detalhes pretendidos para este projeto, o utilizador, além de se identificar terá de interagir com o EVSE para introduzir alguns dados. Inicialmente pensou-se colocar botões físicos, mas posteriormente decidiu-se aplicar um *display touch*, uma vez que o mesmo equipamento permitiria apresentar dados de carregamento ao utilizador, e também o utilizador poderia inserir os dados que fossem necessários. Após alguma pesquisa decidiu-se que o melhor *display touch* a aplicar seria o Nextion, pois é um equipamento *open source* e com *software* próprio. Dispõe de diversos tamanhos e utiliza o protocolo UART para comunicação.

Após, alguma ponderação, avaliação de custos e tamanho, optou-se pelo modelo com 4,3 polegadas de diagonal, *touchscreen* e modelo básico.



Figura 32- Aspeto físico *display touch* Nextion 4,3 polegadas

Entre os modelos disponíveis o básico é o mais simples e conseqüentemente o mais barato, contudo disponibiliza de capacidades suficientes para o projeto, uma vez que as grandes diferenças, para o modelo de topo com as mesmas 4,3 polegadas incidiam numa maior velocidade de comunicação (921600 bps contra os 115200 bps do básico), mais memória *random-access memory* (RAM), mais memória flash, dispõe de memória *electrically erasable programmable read-only memory* (EEPROM) e disponibiliza de funções de áudio. Na Tabela 18 constam as especificações mais significativas do modelo selecionado.

Na Figura 33, está representado o esquema de ligações utilizado para a conexão do *display* Nextion ao ESP 32 e a respetiva alimentação de 5V DC.

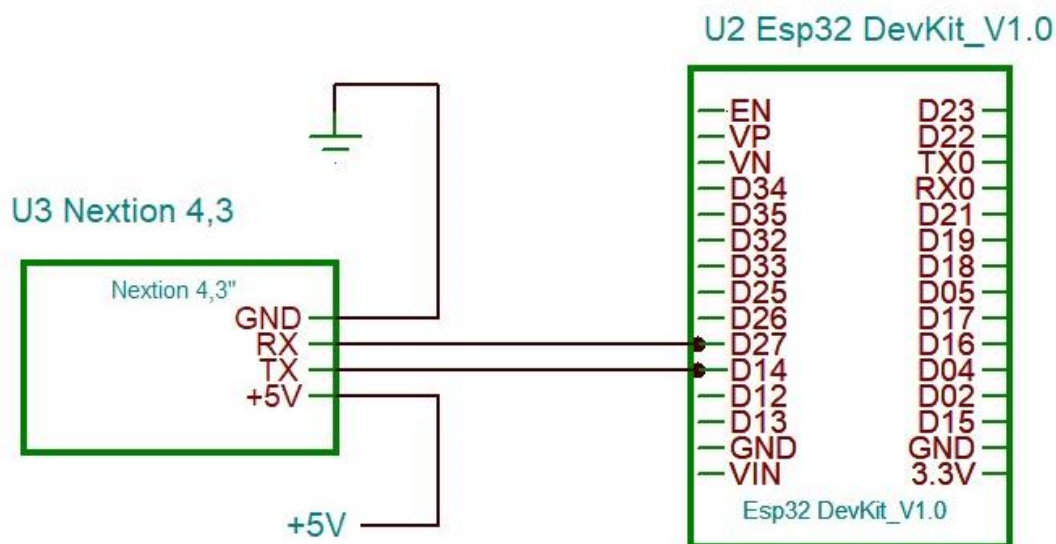


Figura 33- Esquema de ligações entre o ESP32 e o Nextion 4,3''

Tabela 18- Especificações técnicas Nextion *touchscreen* 4,3 polegadas básico [44]

Parâmetro	Especificações	Parâmetro	Especificações
Cores	64K 65536 Cores	Peso	93,8g
Medidas (mm)	120(L)x74(A)x(6.2E)	Velocidade da comunicação série	Típica=9600 bps; Máx.= 115200 bps;
Área de visualização	95,05(L)x53,86(A)	Memória Flash	16MB
Tipo de <i>touch</i>	Resistivo	Memória RAM	3584 BYTE
Luz de fundo	LED	Tensão de funcionamento	5 V DC
Duração média de vida	>30 000h	Corrente máxima	250 mA

4.2.7. ESQUEMA TOTAL DE COMANDO DO EVSE

De forma a integrar todos os circuitos anteriormente descritos num só equipamento, elaborou-se uma *printed circuit board* (PCB), através de uma PCB Universal. Esta PCB inclui o ESP32, todos os pequenos componentes como resistências, MOSFETS, díodos, circuitos integrados, relés e potenciômetro. Serão também aplicados vários bornes para: ligação das várias tensões necessárias. Como a ligação aos contactores de potência e pino piloto. Para executar as ligações ao Nextion, PZEM-004T e ao módulo RFID serão utilizadas fichas de ligação. Na Figura 34 está representado o esquema geral de comando deste projeto.

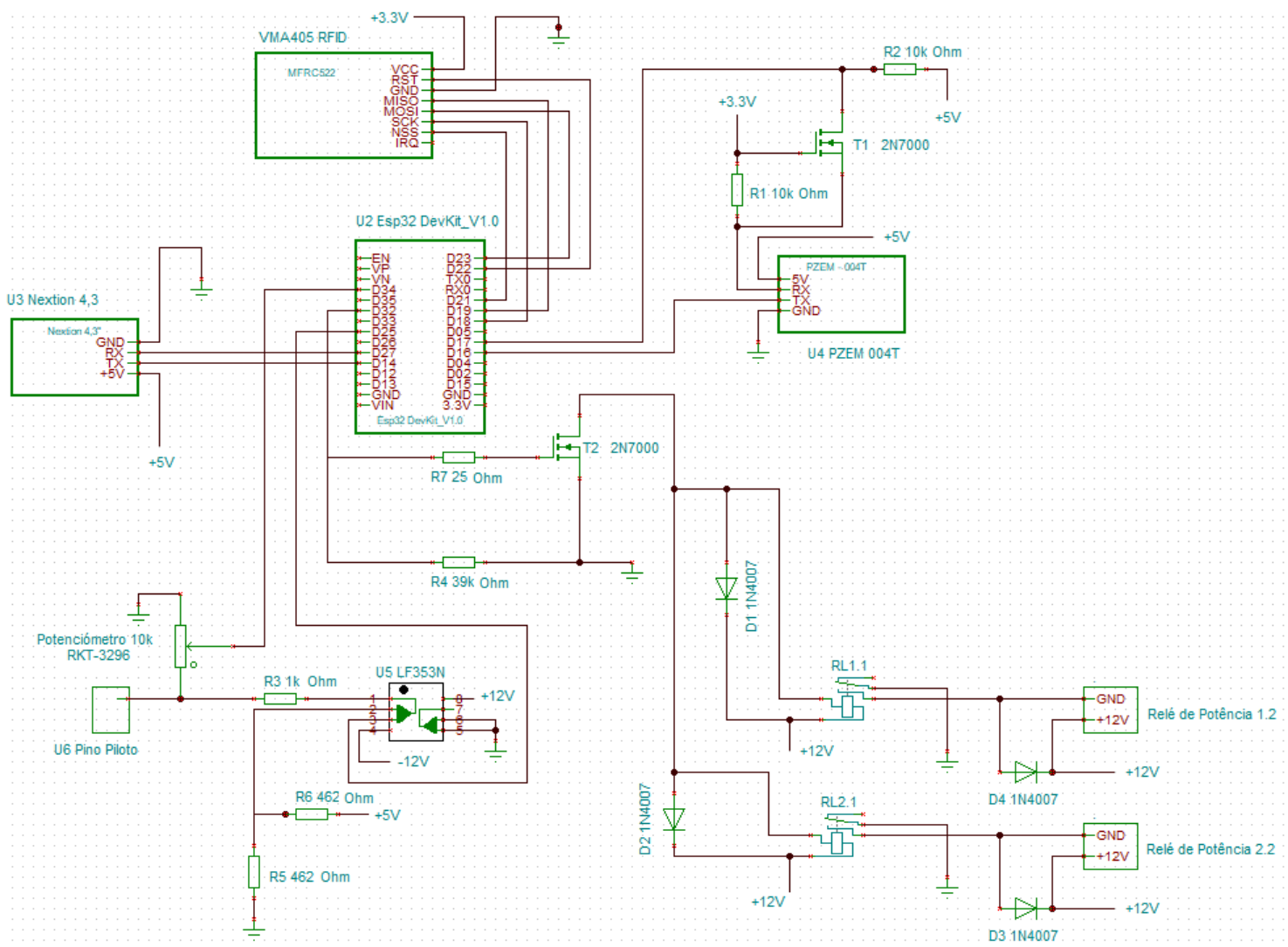


Figura 34- Esquema geral a implementar no PCB

4.2.8. CIRCUITO DE POTÊNCIA

No circuito de potência começou-se por dimensionar que proteções seriam necessárias para este circuito de potência, tendo em conta que só existiriam duas cargas distintas: 7kW do VE e 450W da fonte de alimentação do circuito de comando. Para isso é necessário começar por definir uma proteção diferencial adequada. A proteção diferencial estipulada é de 30mA, a intensidade da corrente nominal de 40A é suficiente, mas neste caso, sendo uma das cargas um VE, o interruptor diferencial deverá ser do tipo B, que além da proteção contra defeitos em correntes alternadas também deteta correntes com componentes DC pulsantes. [45] Por questões económicas e uma vez que havia sido disponibilizado um outro equipamento, foi utilizado um interruptor diferencial de 63A de corrente nominal, 30mA de sensibilidade e do tipo AC, ou seja, só deteta defeitos em correntes alternadas.

Para a proteção contra sobrecargas e curto-circuitos foram aplicados 2 equipamentos distintos para o circuito de potência do VE e para o circuito de alimentação do circuito de comando. Na proteção dos condutores de potência do VE foi utilizado um disjuntor bipolar (1P+N), com uma intensidade da corrente nominal de 40A e tipo de curva C. Para o circuito de comando, foi instalado um disjuntor de unipolar (1P), com uma intensidade da corrente nominal de 10A e tipo de curva C. [45]

O circuito de comando deste projeto exige vários níveis de tensão DC (3,3V, 5V, 12V, -12V) e com valores de corrente a ter em conta. Sendo assim para proporcionar todas estas tensões a um preço acessível foi utilizada uma fonte de alimentação de um computador antigo (JET 450W, representada na Figura 35), pois disponibiliza todas as tensões necessárias e valores de corrente até muito acima do necessário, como se pode comprovar na Tabela 19.

Tabela 19- Tensões e correntes da fonte de alimentação

JET 450W				
Tensão	+3,3v	+5v	+12V	-12V
Corrente	30A	35A	31A	0,8A



Figura 35- Aspeto físico da fonte de alimentação utilizada

O conector selecionado, como referido no ponto 3.4, é o IEC 62196- Tipo 2. O equipamento utilizado foi o conector Duosida com uma capacidade máxima de 32A e 250V, pois as suas características são suficientes e é economicamente o mais acessível que há no mercado. A este conector foi acoplado um cabo de 2 metros de comprimento com 5 condutores de 10 mm² de secção, que, como se pode analisar na Tabela 16, é uma secção sobredimensionada, e não cumpre todos os requisitos descritos no ponto 3.4, como por exemplo os testes de resistência mecânica ou testes da assemblagem, contudo este cabo foi disponibilizado sem custos e garante a segurança da sua operação.



Figura 36- Aspeto físico do conector utilizado

Juntando as proteções, ligação à fonte de alimentação, passagem pelos relés de potência, ligação para leitura ao PZEM e definição do cabo mais conector utilizado, estabelece-se o circuito de potência, que se pode ver representado na Figura 37.

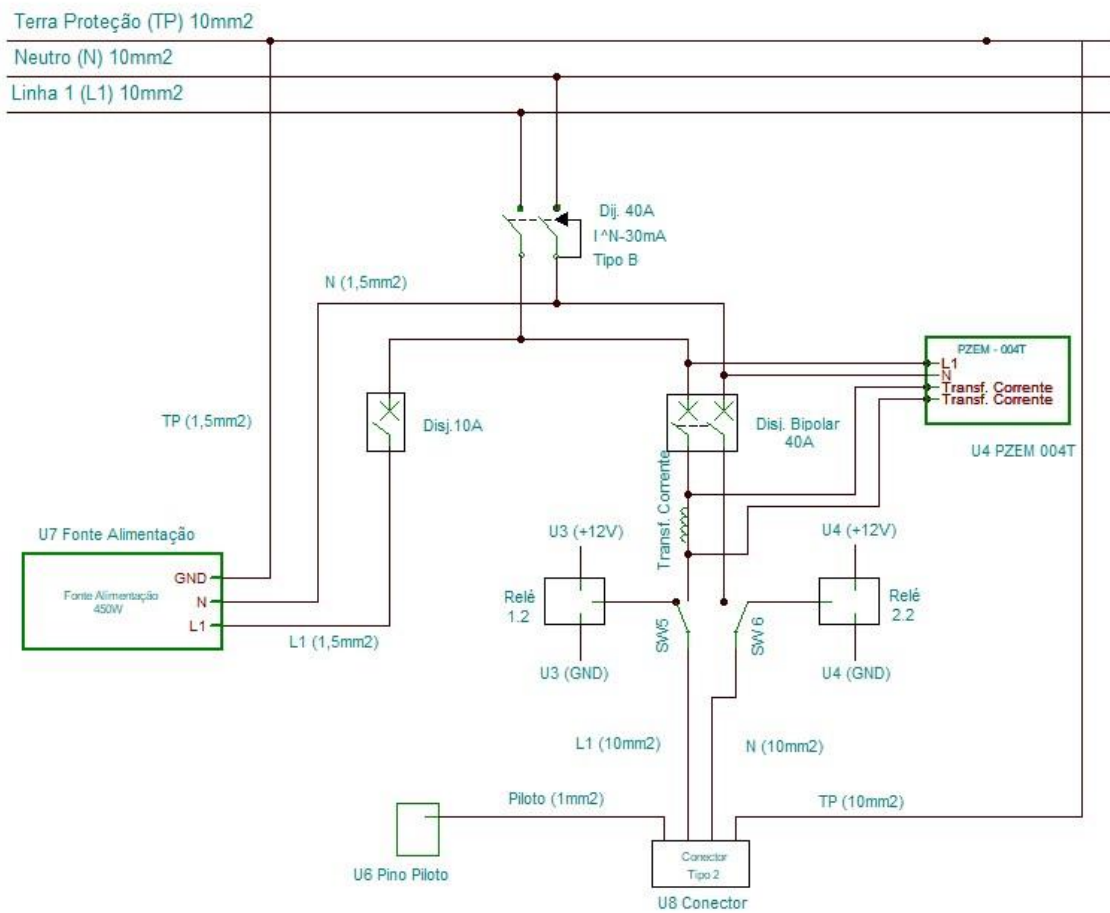


Figura 37- Circuito de potência

4.3. SOFTWARE

4.3.1. CIRCUITO DE COMUNICAÇÃO COM O VE

Quando se inicia a comunicação entre o protótipo e o veículo são necessárias 2 coisas: enviar 12V DC ou PWM (depende do estado) e ler constantemente a tensão no pino piloto.

Antes de se enviar algum sinal para o VE decidiu-se iniciar primeiramente pela leitura do sinal. Para isso recorreu-se ao GPIO 34, que foi definido no *software* como “medidortensao”. O GPIO 34 foi escolhido por ser um dos pinos ADC de 12 *bits* disponíveis no ESP32 DEVKIT V1, por isso, através da função “*analogRead()*”, ao oscilar uma tensão neste pino entre 0 e a tensão de operação (neste caso 3,3V), os valores recebidos no software variarão entre 0 e 4095. [46]

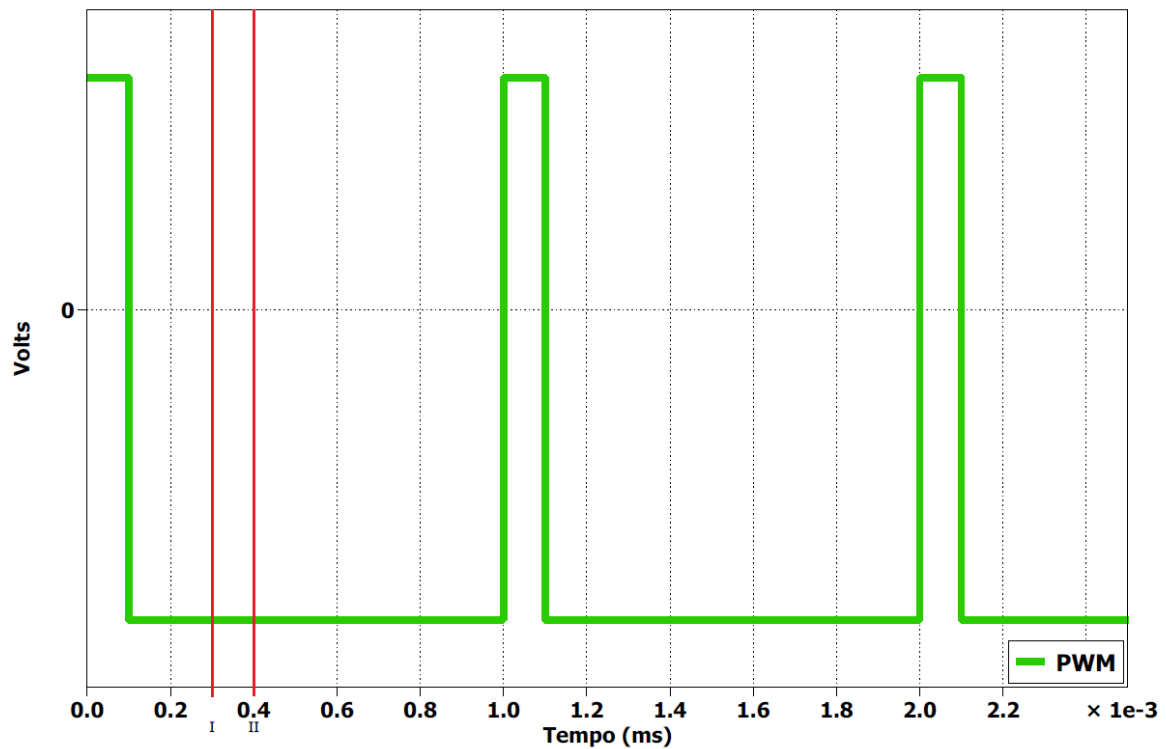


Figura 38- Representação gráfica da medição do PWM com 10% *duty cycle*

Uma vez que as leituras da função “analogRead()” duram cerca de 100µs (0,0001s) [46], há muitas leituras em que se vão obter valores de 0V, principalmente nos casos em que a percentagem de *duty cycle* é mais baixa. Na Figura 38 está representado um PWM com 10% de *duty cycle* (valor afeto ao carregamento mínimo estipulado de 6A), à frequência de 1kHz. Os cursores assinalados na mesma figura a vermelho e identificados como “I” e “II” delimitam uma dessas medições de 100µs. É facilmente perceptível que haverão várias leituras consecutivas a obter o valor de 0V. Esta situação torna impossível a monitorização do pino piloto.

Esta situação foi contornada utilizando um ciclo *for*, como representado na Figura 39.

```
// LEITURA DO PWM
tensaomaxima = 0;
for (i = 0; i < 100 ; i = i + 1) {
    float voltage = ((float)analogRead(medidortensao) / 4096 * 12); // 12bits, resolução= 4096
    if (tensaomaxima < voltage) {
        tensaomaxima = voltage;
    }
    delay (0.01);
}
```

Figura 39- Programação da medição do PWM

Definiram-se mais duas variáveis: “tensaomaxima” e “voltage”. A “tensaomaxima” igualou-se a zero, para servir de referência inicialmente, e a “voltage” faz a conversão para se obter o valor da tensão real da seguinte forma: ao valor obtido pelo “medidortensao” (entre 0-4095) divide-se pela resolução total de 4096 e multiplica-se por 12 (V), pois esta é a tensão máxima que se irá obter.

O ciclo *for* efetua até 100 iterações (que na verdade tratam-se de 100 medições), contudo, assim que a “tensaomaxima” for menor que a “voltage”, significa que a leitura obtida foi do valor máximo do PWM naquele instante e por isso pode-se assumir que a “tensaomaxima = voltage”. Desta forma não são consideradas as medições de 0V.

Após as medições definiram-se os diferentes estados de carregamento como: não conectado, conectado sem estar a carregar, a carregar e estado de erro. Os estados foram definidos recorrendo a ciclos *if* e identificados através dos valores da tensão obtida pela “tensaomaxima”.

No estado “Não Conectado”, a tensão definida pela norma a ser fornecida no pino piloto é de 12V DC, como definido na Tabela 12. Para o fazer definiu-se que neste estado seria

enviado um PWM (ao nível de programação), mas com um *duty cycle* de 100% o que se traduz numa tensão contínua de 12V.

Para se produzir o PWM utilizou-se o GPIO25 e definiram-se os vários parâmetros necessários: frequência (1000Hz), o canal a ser utilizado (0) e a resolução (8 *bits*, que corresponde de 0-255). Ao longo do programa e em função das necessidades de cada carregamento, basta alterar o valor do *duty cycle* entre 0 e 255.

Relativamente à identificação dos estados, como os valores reais não são precisamente iguais aos valores esperados, definiu-se um intervalo por cada estado. Na Figura 40 está representado o estado “A Carregar”. Estado este, em que a tensão máxima do PWM deveria ser de 6V, como definido na Tabela 10, mas na programação assume-se este estado para valores de tensão medidos entre 4 e 6,5V. Nos restantes estados foram atribuídos intervalos de tensão semelhantes, mas na sua gama de tensão.

Uma vez que para este projeto não foi considerado o estado de carregamento com ventilação, assumiu-se que todos os valores medidos abaixo dos 4V serão considerados como estado de erro, em que, os condutores de potência são imediatamente desligados.

```
if ((tensaomaxima >= 4) && (tensaomaxima <= 6.5)) { //ESTADO: A CARREGAR
  acarregar = true;
  Serial.print("A CARREGAR"); // Exibe mensagem no Serial Monitor
  Serial1.print("t3.txt=\"A CARREGAR\""); // Exibe mensagem no Nextion
  terminanextion();
  digitalWrite(PowerRelay, HIGH); // Ativa o circuito de potência
  ledcWrite(PWMchannel, dutycyclearduino); // Mantem o PWM calculado
  leituradepotencia (); // O PZEM inicia as medições de potência
  delay(100);
}
```

Figura 40- Programação do estado “ A Carregar”

Por uma questão de controlo do consumo energético de cada utilizador, houve necessidade de distinguir a fase de ligação do conector e a fase de retirar o conector, para se poder identificar o início e o final do ciclo de carregamento. Os estados que se necessitam de distinguir são: “Não Conectado” e “Conectado sem estar a carregar”. Para isso recorreu-se a duas variáveis booleanas (identificadas no ArduinoIDE através da função “bool”), que apenas assumem dois estados: verdadeiro ou falso. [46] As variáveis booleanas foram nomeadas como “acarregar” e “carregado”, e dentro da programação de cada estado de carga, como é o caso do estado “A Carregar”, representado na Figura 40, é alterado o estado

da variável booleana, neste caso podemos ver “acarregar = true;” No fluxograma da Figura 41 está representado o ciclo dos estados de carregamento por utilização e é possível identificar os estados das variáveis booleanas em cada estado de carregamento.

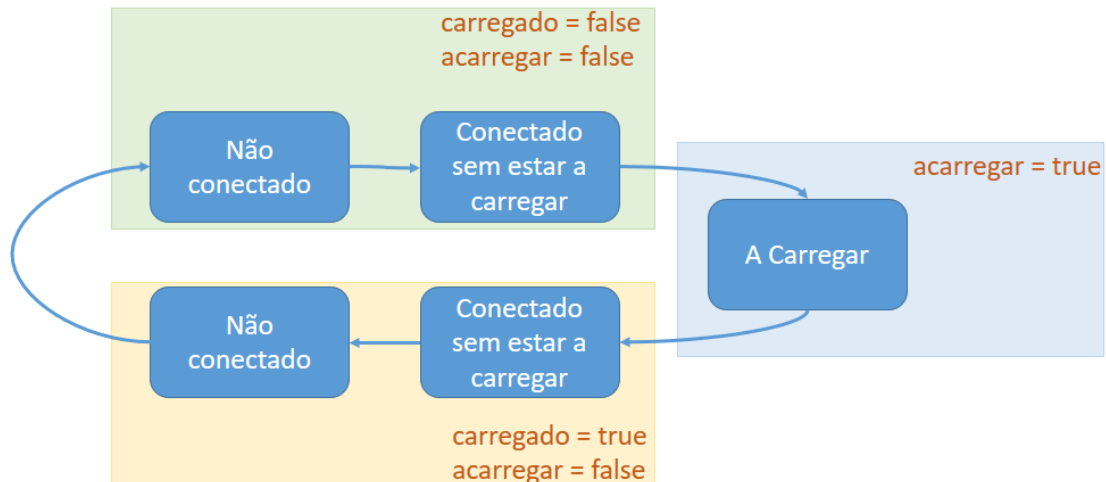


Figura 41- Representação da distinção de estados no ciclo de carregamento

4.3.2. CONFIGURAÇÃO MÓDULO RFID

Para a configuração do módulo VMA405RFID recorreu-se a uma biblioteca [47] existente no gestor de bibliotecas do ArduinoIDE, para compatibilizar a comunicação entre o *software* e o *chip* MFRC522 integrado no módulo VMA405RFID. Além desta, uma vez que se vai utilizar comunicação SPI é também necessário incluir a biblioteca “SPI.h” que ativa a comunicação SPI no ESP32.

Uma vez que o ESP32 DEVKIT V1 disponibiliza de duas ligações para comunicação SPI é necessário identificar em qual das ligações se vai conectar o módulo em questão, para isso a biblioteca apenas requer que sejam identificados os GPIOs onde se vão ligar o RST (GPIO 22) e o NSS (GPIO 21). Posteriormente são inseridas duas *string* (esta função permite o armazenamento de dados [46]), uma delas definiu-se como “IDtag” que armazena o número de série da credencial apresentada e outra que se definiu como “TagsRegistadas”, onde são inseridas as *tags* que tenham acesso à utilização do EVSE.

No momento em que o utilizador deve ser identificado, o módulo RFID está constantemente com a leitura ativa, até identificar uma credencial. Quando é detetada lê o seu número de série e armazena-o na *String* “IDtag”, posteriormente faz uma procura por esse número de série na *String* “TagsRegistadas” e, caso esse número de série conste nessa *String* é “chamado” o ciclo de “acessoConcedido()”, a partir de onde o utilizador terá acesso a prosseguir com o processo de parametrização do carregamento. Caso o seu número de série não conste na *String* é “chamado” o ciclo “acessoNegado()”, que apresenta uma mensagem de erro ao utilizador através do display Nextion durante 5 segundos e volta ao início.

4.3.3. CONFIGURAÇÃO DO *DISPLAY* NEXTION

Para se estabelecer a comunicação com o Nextion, foi necessário definir quais as entradas de comunicação série que seriam utilizadas, uma vez que o ESP32 DEVKIT V1 apenas disponibiliza de 2 entradas UART e já se encontravam a ser utilizadas pelo PZEM-004T e pelo *Serial Monitor* (ferramenta do Arduino IDE que permite analisar os dados referentes ao programa em utilização). Desta forma, definiu-se o GPIO 27 como TX e o GPIO 14 como RX. Esta entrada e saída de comunicação foi identificada como “Serial1”, posteriormente foi também necessário definir a velocidade de comunicação (9600 bps) e o protocolo de comunicação a ser utilizado (“SERIAL_8N1”). Na Figura 42 está representada a programação utilizada.

```
// Definição de entradas e saídas para a conexão do Nextion
#define RXD1 14
#define TXD1 27

void setup() {

  Serial.begin(115200);           // Serial Monitor
  Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD1, TXD1); // Nextion

}
```

Figura 42- Configuração de uma nova entrada UART

O *display* Nextion disponibiliza de um *software* próprio para a sua programação, o “Nextion Editor”, onde é possível criar as diferentes páginas que serão apresentadas no *display*, utilizando imagens, caixas de texto, botões e barras deslizáveis. Além da configuração

estética das páginas do *display*, este *software* permite também configurar, por exemplo, um botão, que ao ser selecionado, efetua uma ação, como mudar de página, enviar informação para o ESP32 ou aumentar ou diminuir um valor. Após a configuração, permite também simular o programa desenvolvido.



Figura 43- Página inicial do Nextion

Na Figura 43 está representada a imagem apresentada no *display* inicialmente. No momento em que é exposta esta página, o utilizador deverá apresentar a sua credencial no leitor de cartões (módulo RFID). Caso o número de série da sua credencial não conste na *string* “TagsRegistadas”, ser-lhe-á apresentada uma página com uma mensagem de erro, que informa o utilizador que não tem permissões para aceder ao equipamento. Após 5 segundos regressa à página inicial automaticamente. Caso o utilizador tenha permissão para utilização deste equipamento, passará para a página seguinte.

Posteriormente a ser validado o acesso do utilizador, são apresentadas 3 páginas consecutivas, onde o utilizador irá inserir dados que permitem ao EVSE calcular o valor da corrente de carga. Os valores a serem inseridos, são: capacidade da bateria do VE (kWh), percentagem de bateria atual (%) e o tempo que se pretende deixar o VE a carregar (horas e minutos). Na capacidade da bateria do VE definiu-se um limite máximo de 100kWh, o valor da percentagem de carga pode ser inserido entre 0 e 100% e o tempo pretendido de carga deve ser inserido com dois valores diferentes: horas (1-10h) e minutos (0-59min.).

Recorreu-se à aplicação de uma barra deslizável e de dois botões que incrementam valor unitariamente, para o utilizador inserir os dados necessários. Na Figura 44 está representada

a configuração implementada na página onde é inserido o tempo pretendido de carregamento. Neste caso recorreu-se a duas barras deslizáveis para se fazer a distinção entre as horas e os minutos.

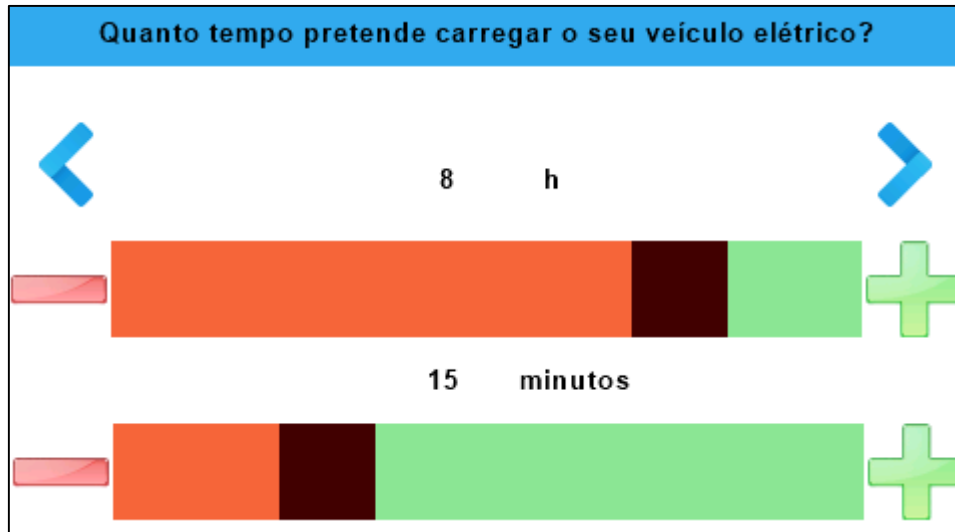


Figura 44- Página de inserção do tempo de carregamento

Nos botões azuis representados na Figura 44, pode-se retroceder ou avançar entre as 3 páginas de inserção de dados. Neste projeto a última página de inserção de dados é a da Figura 44, por isso, ao ser pressionado a seta azul que aponta para a direita, são enviados os 4 valores inseridos para o ESP32 que correspondem ao número de kWh, percentagem de carga, horas e minutos.

Os dados enviados pelo Nextion têm base hexadecimal e são enviados no formato mostrado na Figura 45, onde cada par de caracteres são dois dígitos hexadecimais e correspondem a 1 *byte*.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hexadecimal	76	61	6C	28	00	00	00	32	00	00	00	08	00	00	00	1E	00	00	00
Decimal	<u>val</u>			40	50			8			30								
Unidades	<u>kWh</u>			%			h			min.									

Figura 45- Informação enviada do Nextion para o ESP32

No programa do ESP32, definiu-se uma *string* para receber os dados enviados do Nxtion e chamou-se de “dfd” (*data from display*). No momento em que o ESP32 deve receber dados do Nxtion, está sempre a verificar se recebe alguma informação. Caso receba, armazena-a na *string* “dfd” e verifica as seguintes condições: se os 3 primeiros *bytes* correspondem a “val” e se a totalidade de bytes recebidos corresponde a 19. Caso se confirmem as condições descritas, segue-se a leitura dos 16 *bytes* correspondentes aos 4 valores introduzidos pelo utilizador. Para isso criaram-se 4 novas *strings*, que têm o propósito de separar os 4 *bytes* de informação enviados por cada valor enviado e desta forma identificá-lo.

```
1
2 union {
3   char kwhByte [4];
4   long kwhLong;
5 } valuekwh;
6
7
8   valuekwh.kwhByte [0] = char (dfd[3]);
9   valuekwh.kwhByte [1] = char (dfd[4]);
10  valuekwh.kwhByte [2] = char (dfd[5]);
11  valuekwh.kwhByte [3] = char (dfd[6]);
12  Serial.println("kwh = " + String(valuekwh.kwhLong));
```

Figura 46- Leitura dos valores enviados pelo Nxtion

Na Figura 46, linha 3, definiu-se que “kwhByte” contém 4 caracteres. Na linha 8 definiu-se que o carácter 3 da *string* “dfd” corresponde ao carácter 0 da *string* “kwhByte”, uma vez que, como se pode ver na Figura 45, o byte 3 é o primeiro byte correspondente ao valor de kWh. Esta ideologia é aplicada de 4 em 4 bytes, identificados com *strings* de diferentes nomes para se poderem converter para números decimais e distinguirem ao longo da programação.

Terminada a inserção de dados, é apresentada ao utilizador uma nova página, onde consta a estimativa do custo total do carregamento, em função dos dados inseridos anteriormente. Além disso é-lhe solicitado que coloque o conector no veículo.

O envio de dados do ESP32 para o Nxtion incide apenas na função “Serial.print”. Desta forma já é identificada quais as entradas e saídas em que o ESP32 deverá enviar esta informação e nela basta identificar qual é a página e ou caixa de texto em que se pretende

apresentar os valores no Nextion. Na Figura 47 é demonstrado como se envia o valor da estimativa de custo calculado, através da variável “estimativadecusto” para a caixa de texto “t4”.

```
// Envia valor da estimativa de custo para o nextion
Serial1.print("t4.txt=\");
Serial1.print(estimativadecusto);
Serial1.print("\");
terminanexion();
```

Figura 47- Envio de dados do ESP32 para o Nextion

Assim que o conector é colocado no veículo, o estado de carga passa de “Não conectado” para “Conectado sem estar a carregar” e através desta mudança de estado o ESP32 envia ao Nextion ordem para mudar para a página seguinte. Esta página tem o aspeto representado na Figura 48 e é a página que o utilizador vê durante todo o período de carregamento.

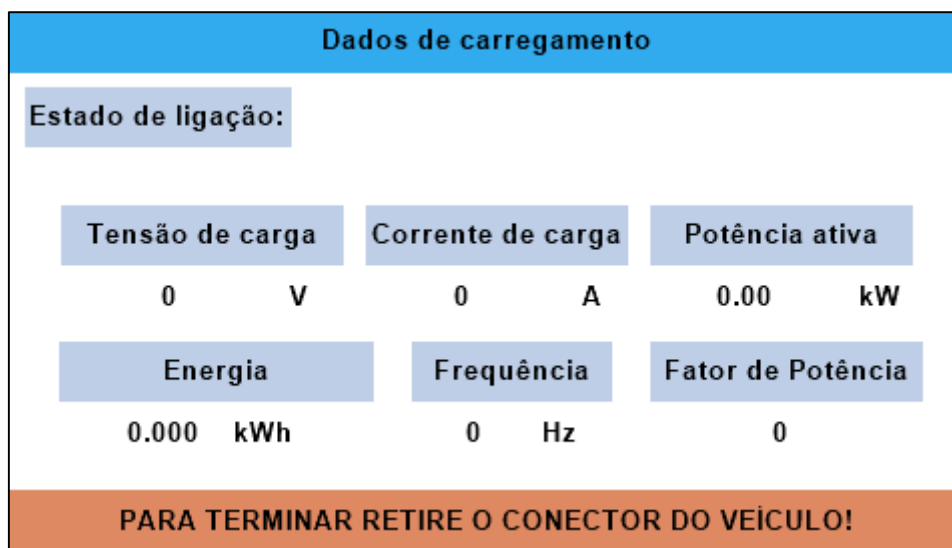


Figura 48- Página com os dados instantâneos do carregamento

Esta página, informa qual é o estado de ligação entre o conector e o VE e uma vez que se inicie o carregamento são apresentados os dados de carregamento instantâneos da: tensão, corrente, potência ativa, frequência, fator de potência e o contador de energia consumida no decorrer do carregamento.

Como indicado na Figura 48, caso o utilizador pretenda, poderá interromper o carregamento a qualquer momento, retirando o conector do veículo. No cenário em que o utilizador demora

mais tempo do que inseriu no início do carregamento e o VE já esteja totalmente carregado, o VE dá ordem para a paragem do carregamento. O EVSE irá interromper os contactos de potência e o Nextion permanecerá nesta página, com a informação de que o estado de ligação é “Conectado sem estar a carregar”. O carregamento só é dado como terminado, quando o conector for retirado do VE.

Assim que o estado de ligação voltar a ser “Não conectado”, mas com a variável booleana “carregado=true”, como demonstrado na Figura 41, o ESP32 dá ordem para a passagem de página e envia os valores de energia consumida (kWh), custo do carregamento (€) e a tarifa aplicada (€/kWh). Após um *delay* de 10 segundos com esta página a ser apresentada, é dada uma nova ordem pelo ESP32 para regressar à página inicial do Nextion.

4.3.4. CONFIGURAÇÃO DO PZEM-004T

O objetivo da utilização do PZEM-004T 100A neste projeto é enviar ao ESP32 os valores da tensão, corrente, frequência, potência ativa, fator de potência e contador de energia. Pelo lado inverso é necessário que o ESP32 envie ao PZEM-004T a ordem para efetuar *reset* ao contador de energia.

Uma vez que se encontrou uma biblioteca disponível e compatível com a comunicação entre ESP32 e PZEM-004T, decidiu-se aplicar a mesma. [48]

Definiram-se as entradas e saídas de comunicação RX2 e TX2, identificadas desta forma no ESP32 DEVKIT e correspondentes aos GPIOs 16 e 17 respetivamente.

```
#include <PZEM004Tv30.h>

HardwareSerial PzemSerial2(2); // (GPIO16)RX2 + (GPIO17)TX2
PZEM004Tv30 pzem(&PzemSerial2);
```

Figura 49- Definição das entradas de comunicação do PZEM-004T

Foi instalada e incluída a biblioteca “PZEM004TV30.h”, como se pode ver na Figura 49. Posteriormente definiram-se as entradas e saídas de acordo com um dos exemplos disponíveis na biblioteca.

Neste projeto, apenas são solicitados valores ao PZEM-004T a partir do instante em que o VE inicia o carregamento. Para facilitar a leitura humana do programa completo do protótipo, foi criado o “void leituradepotencia ()”, que se trata de um ciclo onde são inseridas as configurações necessárias para extrair do PZEM-004T cada um dos dados necessários durante o carregamento. Na Figura 40 é possível observar a configuração do estado de carregamento “A Carregar”, estado esse em que é chamado o *void* “leituradepotencia”.

Na Figura 50 é demonstrado como são obtidos os valores de tensão e posteriormente exportados para o *Serial Monitor* e para o Nextion.

```
void leituradepotencia () {  
  
    float voltage = pzem.voltage();  
    if (!isnan(voltage)) {  
        // Envia valor da tensão para o Serial Monitor  
        Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage); Serial.println("V");  
        // Envia valor da tensão para o Nextion  
        Serial1.print("t11.txt=\");  
        Serial1.print(voltage, 1);  
        Serial1.print("\");  
        terminanextion();  
    } else {  
        Serial.println("Erro de medição");  
    }  
};
```

Figura 50- Configuração da leitura da tensão pelo PZEM-004T

Este processo repete-se para cada uma das restantes grandezas que são apresentadas no *display*: corrente, potência ativa, energia, frequência e fator de potência.

O valor de energia consumida contabilizada pelo PZEM-004T permanece em memória até que seja reiniciado, por isso, no instante em que é dada a ordem para o Nextion regressar à página inicial e portanto finalizar completamente o ciclo de um utilizador, é dada a ordem para reiniciar o contador de energia, através da expressão definida pela biblioteca utilizada “pzem.resetEnergy()”.

4.3.5. CÁLCULOS EFETUADOS NO SOFTWARE

Neste projeto é necessário efetuar alguns cálculos, em função dos *inputs* que o utilizador insere no Nextion. Como se pode ver ao longo do subcapítulo 4.3.3 o utilizador introduz 4 valores diferentes referentes à capacidade da bateria do VE (kWh), percentagem atual da bateria (%), horas (h) e minutos (min.).

Com estes 4 dados pretende-se essencialmente apurar qual a corrente de carregamento necessária, para, após decorrido o tempo introduzido, o VE esteja completamente carregado. Contudo, uma vez que se definiu que este projeto estaria limitado a 30A, há cenários em que, mesmo carregando a 30A não será suficiente para terminar o carregamento no tempo previsto. Pelo lado inverso, como definido pela norma, não é possível carregar um VE com uma corrente inferior a 6A. Há cenários em que o VE ficará carregado mais rápido do que o tempo inserido pelo utilizador, contudo não deverá ser um problema.

Para efeitos de demonstração dos cálculos efetuados, considerou-se que o utilizador colocou os seguintes dados: o seu VE tem uma capacidade de 40kWh, a sua bateria está a 50% da sua capacidade e o utilizador pretende ter o seu VE a carregar durante 8 horas e 30 minutos.

A primeira operação a ser levada a cabo consiste em converter os minutos inseridos pelo utilizador em horas e posteriormente somá-los às horas também inseridas pelo utilizador, para isso foi criada a variável “tempototal”, que elabora a operação descrita da seguinte forma:

$$tempototal(h) = horas + (minutos * 0,01666)$$

Sendo assim, para o caso de demonstração obtém-se cerca de 8,5h.

Posteriormente efetuou-se o cálculo de quantos kWh é necessário fornecer ao VE para completar o carregamento da bateria. Para isso definiu-se a variável “quefaltacarregar”, que calcula a percentagem que falta carregar e multiplica-a pela capacidade do VE, como se pode ver abaixo:

$$quefaltacarregar(kWh) = (1 - (\%atual\ da\ bateria * 0,01)) * cap.\ da\ bat.\ (kWh)$$

Para o caso de demonstração, é facilmente perceptível que a energia que é necessário fornecer ao VE é de 20kWh, uma vez que a sua capacidade é de 40kWh e a percentagem atual da bateria é de 50%.

Uma vez que já se calculou o tempo total de carregamento e a energia que tem de ser fornecida ao VE, pode-se considerar que:

$$Energia (kWh) = Pa (kW) * tempo (h)$$

Como também já foi analisado no subcapítulo 4.2.4, poderemos substituir a equação acima por:

$$Energia (Wh) = U(V) * I(A) * \cos(\phi) * tempo (h)$$

De acordo com a análise dos sinais sinusoidais da tensão e da corrente elaborados através da medição com osciloscópio e pinças adequadas, aquando do carregamento de um VE, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 51, de onde é possível observar que ambos os sinais de tensão e corrente cruzam o referencial do tempo no mesmo instante e portanto podemos assumir que o VE é uma carga puramente resistiva. Dada esta verificação assumiu-se que o fator de potência é igual a 1.

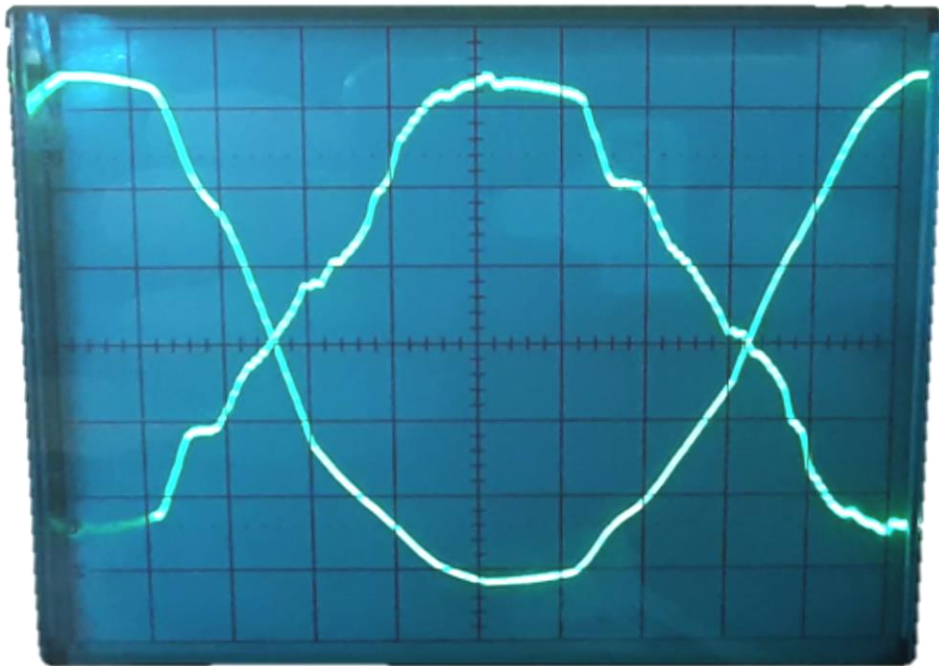


Figura 51- Sinais da tensão e corrente do VE

Desta forma, é possível substituir todas as grandezas da expressão anteriormente citada, à exceção da corrente, grandeza que pretendemos calcular. Para o exemplo que se está a ter em conta, podemos considerar que:

$$20\,000\text{ (Wh)} = 230\text{ (V)} * I\text{ (A)} * 1 * 8,5\text{ (h)}$$

$$I_{carga} = 10,23\text{ A}$$

No programa foi definida a variável da corrente como “Icarga”.

Posteriormente a ter sido calculada a corrente de carga, estabeleceu-se a limitação máxima de corrente (30A) e mínima de (6A).

Após estas considerações já é possível calcular uma estimativa de custo para apresentar ao utilizador antes de iniciar o carregamento. Para isso definiu-se uma tarifa de 0,15€ por kWh consumido e a variável “estimativadecusto” que se calcula da seguinte forma:

$$\textit{Estimativa de custo (€)} = \textit{Energia(kWh)} * \textit{tarifa (€)}$$

$$\Leftrightarrow \textit{Estimativa de custo (€)} = \frac{230 * I_{carga} * 1 * \textit{tempototal} * \textit{tarifa}}{1000}$$

Para o caso de exemplo que se está a considerar e substituindo os valores, obtém-se um custo estimado de 3€ para carregar completamente a bateria do VE. De seguida este valor é apresentado no Nextion para consulta do utilizador.

Para se obter um carregamento com o valor de “Icarga” calculado, é necessário calcular o *duty cycle* e posteriormente convertê-lo num valor entre 0 e 255, uma vez que o *dutycycle* é enviado em *8bits*.

Como calculado no subcapítulo 2.1.3, ao valor de “Icarga” apenas é necessário dividir por 0,6 e obtém-se para este caso prático uma percentagem de *duty cycle* de 17,05%.

Definiu-se a variável “dutyyclearduino” que calcula o valor do *dutycycle* entre 0 e 255, da seguinte forma:

$$\textit{dutyyclearduino} = \frac{\%dc * 256}{100}$$

Que para o caso em questão se obtém um valor de 43,65.

Após efetuado o carregamento e retirado o conector do veículo, é necessário calcular o custo real do carregamento. Para isso é considerado o valor de energia armazenado pelo PZEM-004T e multiplica-se pela tarifa considerada de 0,15€/kWh.

4.3.6. ENVIO DE E-MAIL

Uma vez que neste projeto não vão ser incluídas bases de dados nesta fase, decidiu-se utilizar as funcionalidades de *Internet of Things* (IoT) do ESP32. Neste caso, assim que o carregamento estiver terminado e o conector for retirado do VE, o ESP32 envia um e-mail de um endereço colocado na programação para um ou mais endereços que também constem na programação do ESP32.

Para elaborar este procedimento foi utilizada uma biblioteca já existente para envio de e-mails com o ESP32, a biblioteca em questão é a “ESP-Mail-Client” [49]. Além desta é também necessário utilizar a biblioteca “WiFi” que permite utilizar as propriedades de conexão à internet deste equipamento.

Criou-se a seguinte conta de e-mail para o equipamento: isepevcharger@gmail.com. Conta a partir da qual serão enviados todos os e-mails deste equipamento.

De acordo com alguns exemplos existentes na biblioteca “ESP-Mail-Client” elaboraram-se as configurações iniciais de ligação à internet, como se pode ver na Figura 52, onde é definida a rede de internet a que o ESP32 se deve conectar, qual é o endereço de onde vai ser enviado e qual será o endereço recetor.

No *void setup* do programa, é iniciada a comunicação com a internet e é enviado o *IP address* para o *Serial Monitor*. Para facilitar o manuseamento e perceber se o ESP32 está efetivamente conectado à internet, utilizou-se o *built-in led* de cor azul que o ESP32 DEVKIT V1 disponibiliza, que se acenderá assim que estabelecer comunicação com a internet.

```

//***** Credenciais WIFI *****
#define WIFI_SSID "Salto A30s"
#define WIFI_PASSWORD "*****"

/* Credenciais do e-mail de onde vamos enviar */
#define AUTHOR_EMAIL "isepevcharger@gmail.com"
#define AUTHOR_PASSWORD "*****"

/* E-mail que recebe a informação do carregamento*/
#define RECIPIENT_EMAIL "1180363@isep.ipp.pt"

#define SMTP_HOST "smtp.gmail.com"
#define SMTP_PORT 465

```

Figura 52- Definição para ligação do ESP32 à internet

O programa dá ordem de envio do e-mail após o utilizador desconectar o conector do VE.

Neste momento o ESP32 envia o e-mail com os detalhes, texto e variáveis configuradas e dá *feedback* do correto envio através do *Serial Monitor*. Na Figura 53 está representado o formato do e-mail enviado pelo ESP32.

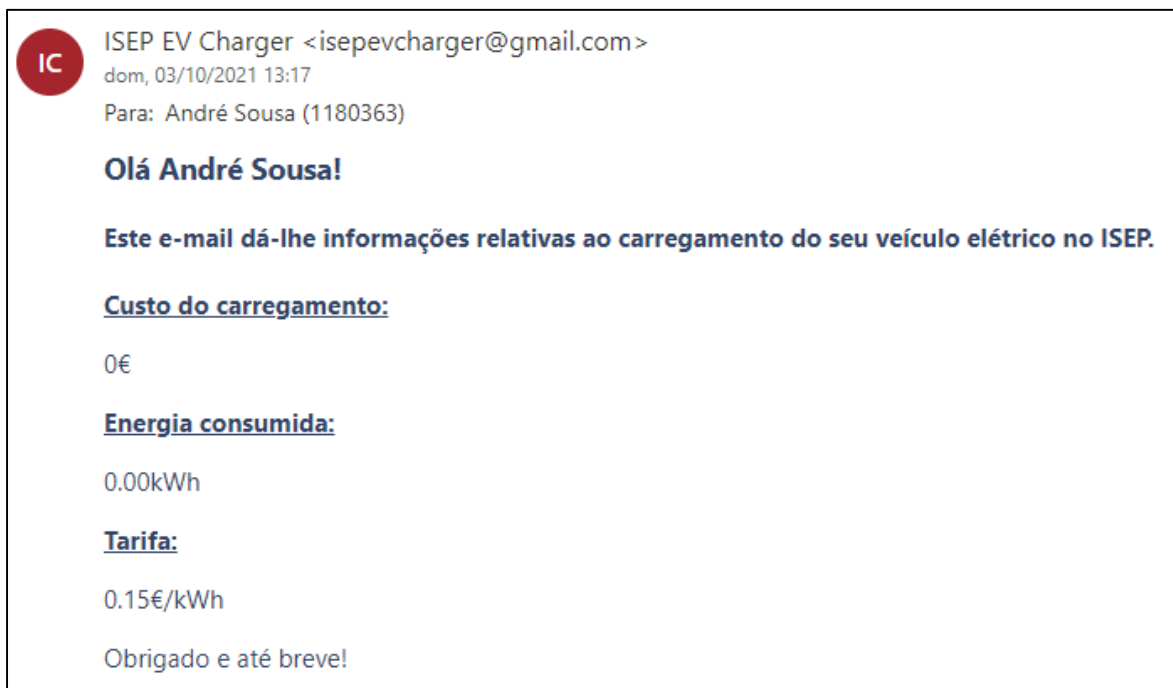
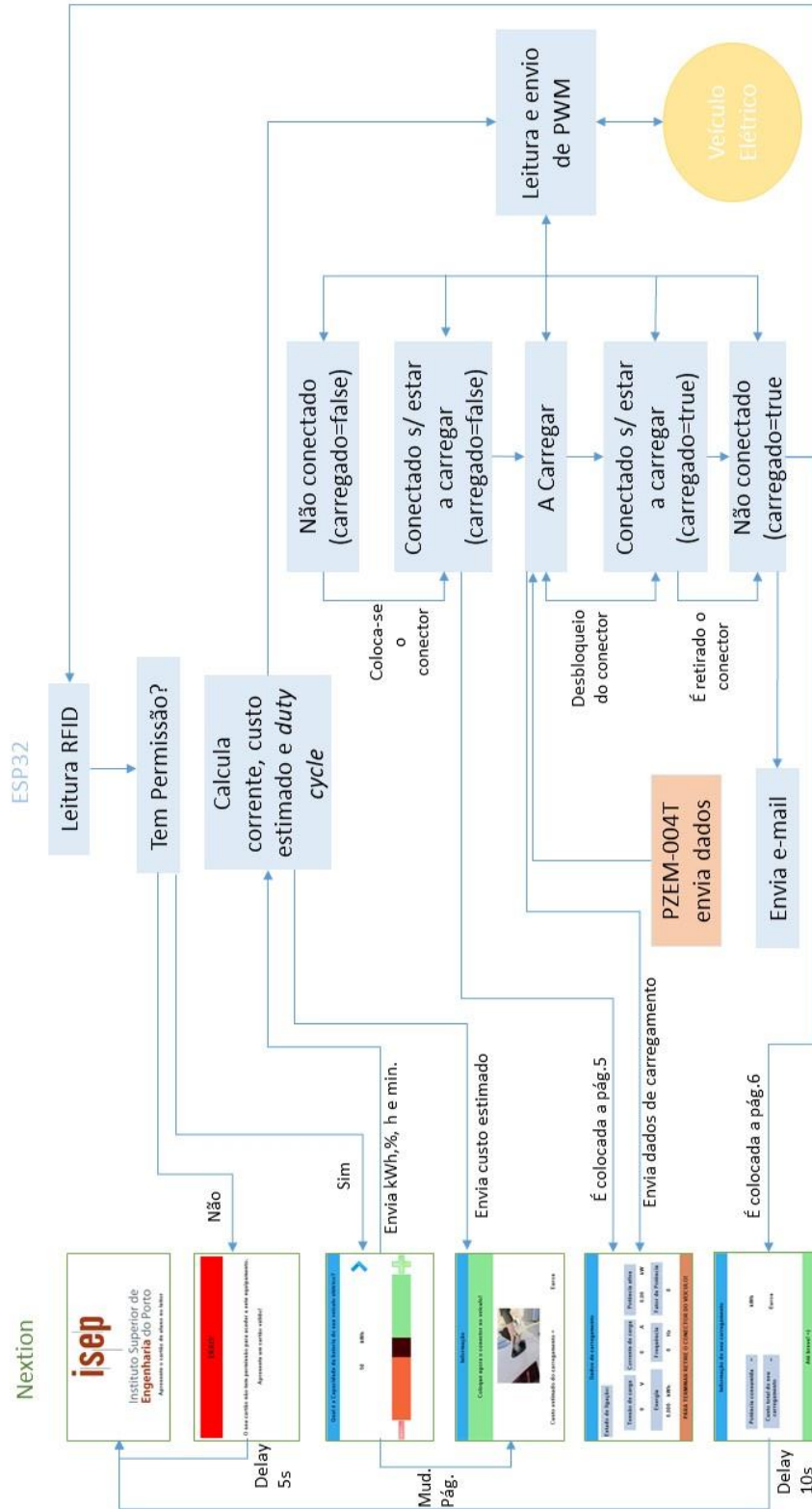


Figura 53- Formato do e-mail enviado pelo ESP32

4.3.7. ESQUEMA GERAL DO SOFTWARE



5. APLICAÇÃO PRÁTICA E TESTES FUNCIONAIS

5.1. TESTES AO CIRCUITO DE SIMULAÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO

De acordo com o subcapítulo 4.2.3, foi desenvolvido o circuito representado na Figura 28. A sua implementação foi levada a cabo num PCB universal e instalada no interior de uma caixa de derivação para facilitar a instalação dos *switches*, bornos de ligação e torna a operabilidade mais simples e robusta.

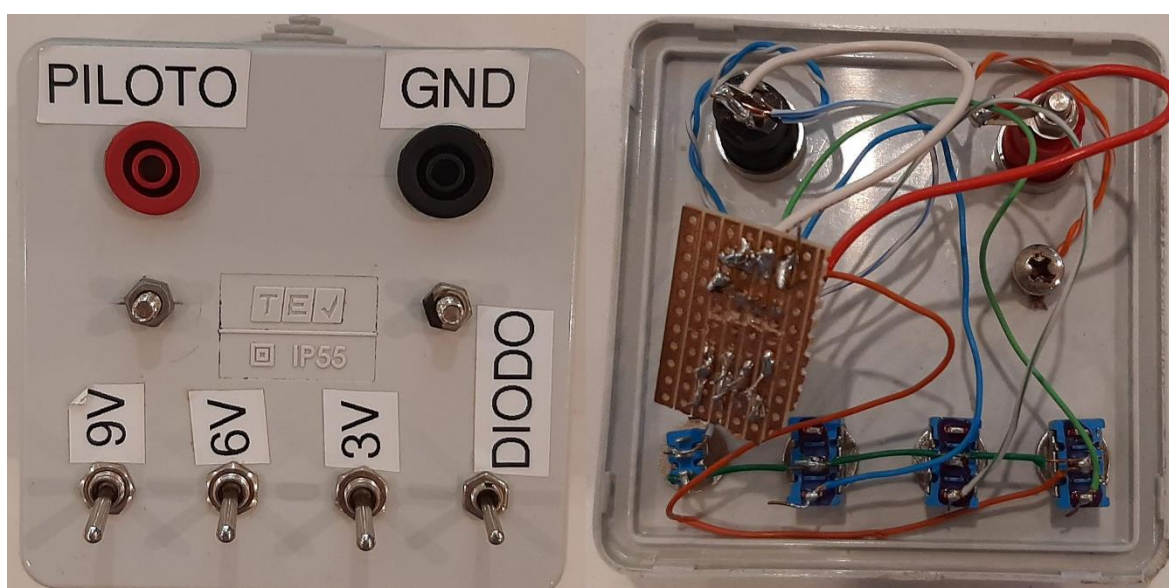


Figura 54- Aspeto físico do circuito simulador do VE

Ativando o *switch* identificado como “diodo” na Figura 54, representado como “SW4” na Figura 28, é possível medir aos bornos “piloto” e “GND” a resistência de cada um dos estados, ativando apenas um *switch* de cada vez.

Na Tabela 20, estão representados os valores nominais de resistência, de acordo com a Tabela 12, e os valores medidos com multímetro. Como é possível comparar, os valores medidos estão perfeitamente dentro da gama de valores admitida na Tabela 12.

Tabela 20- Medição das resistências do simulador do VE

<i>Switch</i> do simulador	Estado correspondente	Valor oficial	Valor medido
9V	Conectado sem estar a carregar	2740 Ω	2731 Ω
6V	A Carregar	882 Ω	887 Ω
3V	A Carregar com ventilação	246 Ω	245,8 Ω

5.2. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO FINAL

5.2.1. IMPLEMENTAÇÃO DO CIRCUITO DE COMANDO

Tal como descrito no ponto 4.2.7, o esquema de comando representado na Figura 34 foi aplicado num PCB Universal, implementado manualmente. Na Figura 55 está representado o PCB desenvolvido.

Para facilitar a implementação e ligação de todos os circuitos foram aplicadas 3 fichas, 2 de 4 pinos para o PZEM004T e para o Nextion e outra ficha de 8 pinos para o módulo RFID, que necessita da conexão de 7 condutores. Para a conexão dos bornes de alimentação do circuito de comando, saída do sinal para o pino piloto e saída para os relés de potência, foram implementados bornes de aperto por parafuso com capacidade para conexão de condutores até 1,5mm² de secção. Para a conexão do ESP32 foram implementados ligadores que permitem a fácil remoção e aplicação do mesmo, o que permite substituir facilmente o equipamento, ou até mesmo removê-lo para efetuar um *update* ao *firmware*, por exemplo.

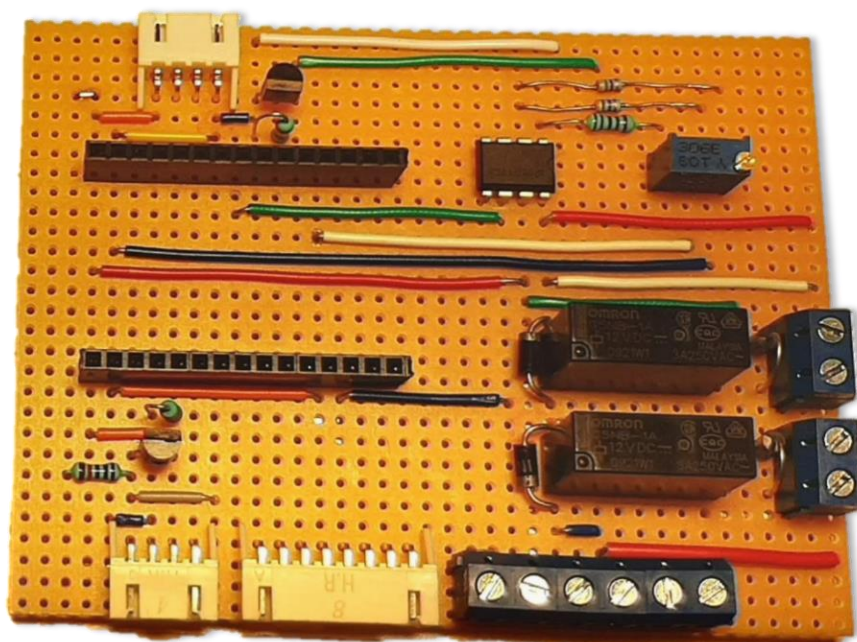


Figura 55- Representação física do PCB desenvolvido

5.2.2. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO FINAL

Para albergar todo o equipamento foi utilizada uma caixa com dimensões adequadas e com fechadura, por questões de segurança.

Dentro da caixa foi implementada uma calha conforme a *Deutch Institut fur Normung* (DIN) EN 60715, para possibilitar a instalação dos equipamentos de proteção de potência (interruptor diferencial, disjuntor unipolar e disjuntor bipolar) e também para fixação dos relés de potência. O PCB e o PZEM foram instalados centralmente, fixados no fundo da caixa, para facilitar as ligações entre estes e os restantes equipamentos.

A fonte de alimentação, foi instalada no topo da caixa por uma questão de arrumação e facilidade de ligação ao PCB. A ventoinha de circulação de ar fornecida com a fonte de alimentação foi retirada e implementada na caixa, com o propósito de admitir ar fresco do exterior e forçar o ar no interior a sair pelos vários orifícios criados para esse propósito.

A entrada de alimentação elétrica para o equipamento e saída para o conector de ligação ao VE são efetuadas pela parte inferior da caixa, com recurso a buçins adequados às dimensões

dos cabos utilizados. Lateralmente no exterior foi também aplicado um suporte que permite ter colocado o conector nos momentos em que o equipamento não se encontra em utilização.

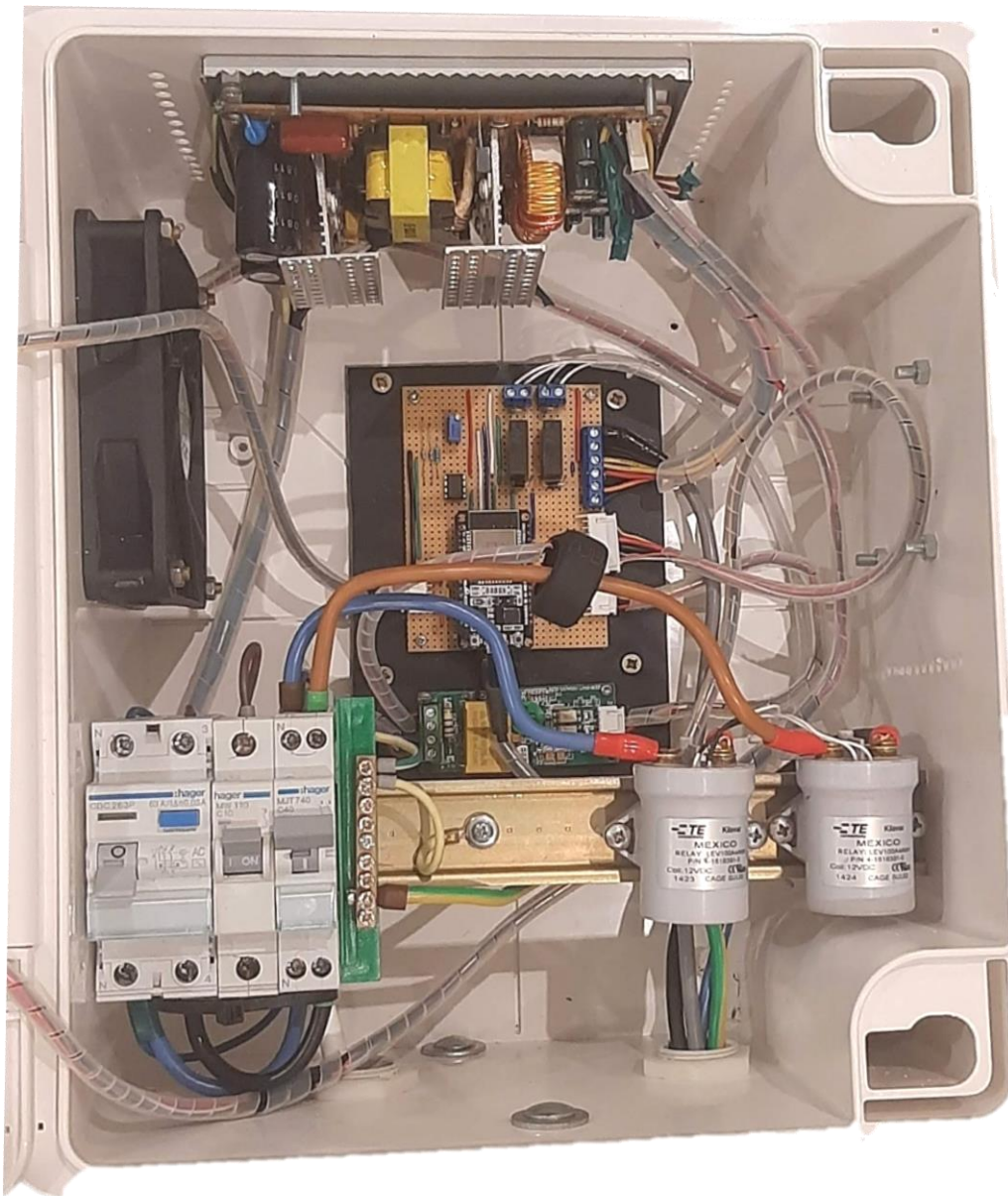


Figura 56- Interior do equipamento desenvolvido

Na tampa articulada por dobradiças foram aplicados os equipamentos para interação com o utilizador: *display* Nextion e o módulo RFID. Para o *display* foi feito um corte com as suas medidas, de forma a possibilitar a interação com o utilizador e no caso do módulo RFID, uma vez que a caixa é feita de plástico e por isso não impede a leitura de cartões, este equipamento apenas foi fixo pelo interior. Pelo exterior foi identificada com autocolante a

área onde se deve apresentar o cartão. Na Figura 57 está representada a tampa do protótipo pelo exterior e interior, respetivamente.



Figura 57- Exterior e interior da tampa do equipamento desenvolvido

Para a utilização do protótipo desenvolveu-se um tripé que facilita a operação e interação com o utilizador.

Na Figura 58 está representado o protótipo final em funcionamento, a carregar um Nissan Leaf.



Figura 58- Protótipo final em funcionamento

5.3. TESTES FUNCIONAIS AO PROTÓTIPO FINAL

Durante a execução dos primeiros testes, onde apenas era enviado e lido o PWM, ainda com montagem em *breadboard*, foram sempre sendo testados os vários estados de carregamento com recurso ao simulador de VE mencionado no subcapítulo 5.1. Posteriormente, com o protótipo final já desenvolvido e uma vez que o equipamento estava a corresponder como esperado durante as diferentes alterações de estado com o simulador, efetuou-se a primeira ligação a um VE. Para isso desligou-se o circuito de potência e estabeleceu-se conexão com o veículo, apenas com o circuito de comando em funcionamento. Foram testados vários cenários, de conexão e remoção do conector. Em geral os resultados obtidos foram

semelhantes aos resultados obtidos com o simulador. Contudo foi detetada uma pequena falha que poderia causar alguns problemas. Quando o utilizador decide retirar o conector com o VE ainda em carregamento, seleciona a opção na chave do veículo para desbloquear o *interlock*, ação esta que leva o VE a alterar o PWM para mudar do estado “A Carregar” para “Conectado sem estar a carregar” e assim que o utilizador retira o conector o estado passa a “Não Conectado”. O que se constatou, foi que, caso o utilizador seleccionasse a opção na chave para desbloquear o *interlock* e retirasse o conector rapidamente, o protótipo poderia não ter tempo de assumir o estado “Conectado sem estar a carregar” passando, portanto, de “A Carregar” para “Não conectado”. Desta forma, o ciclo normal de carregamento não era cumprido, o protótipo não chegaria a enviar o *e-mail* com a informação nem iria assumir os custos do carregamento.

Para resolver esta questão foi apenas necessário reduzir os vários *delays* ao longo da secção do programa de “Controlo Piloto”.

Uma vez resolvida esta questão e estando todos os estados em funcionamento como esperado, foi ligado o protótipo pela primeira vez ao veículo com a potência em funcionamento e foram elaborados os 2 seguintes testes.

➤ **Teste 1:**

Foram seleccionados no *display* os valores de 40kWh, 62% de bateria e 6 horas de carregamento.

De acordo com os cálculos descritos no subcapítulo 4.3.5, os cálculos efetuados pelo programa são os seguintes:

$$quefaltacarregar(kWh) = (1 - (62(\%) * 0,01)) * 40(kWh) = 15,2 kWh$$

$$15200 (Wh) = 230(V) * I_{carga}(A) * 1 * 6 (h)$$

$$I_{carga} = 11,015 A$$

$$Estimativa de custo (\text{€}) = \frac{230 (V) * 11,01(A) * 1 * 6(h) * 0,15}{1000} = 2,279\text{€}$$



Figura 59- Dados de carregamento durante o Teste 1

A estimativa de custo apresentada ao utilizador foi de 2,28€.

Durante o Teste 1, o *display* apresentou os valores representados na Figura 59. Como termo de comparação foram também obtidas medições com o multímetro Amprobe ACD-10, que durante este carregamento se obtiveram os seguintes valores:

- Tensão= 223,5V;
- Corrente= 10,40A.

➤ **Teste 2:**

Foram seleccionados no *display* os valores de 40kWh, 75% de bateria, 8 horas e 30 minutos de carregamento.

De acordo com os cálculos descritos no subcapítulo 4.3.5, os cálculos efetuados pelo programa são os seguintes:

$$tempototal(h) = 8 (h) + (30 (min.) * 0,01666) = \mathbf{8,499h}$$

$$quefaltacarregar(kWh) = (1 - (75(\%) * 0,01)) * 40(kWh) = \mathbf{10 kWh}$$

$$10000 (Wh) = 230(V) * I_{carga}(A) * 1 * 8,499 (h)$$

$$I_{carga} = \mathbf{5,115 A}$$

Uma vez que I_{carga} é menor que 6A, o programa considera que $I_{\text{carga}} = 6\text{A}$, como descrito no subcapítulo 4.3.5. .

$$\textit{Estimativa de custo} (\text{€}) = \frac{230 (V) * 6(A) * 1 * 8,499(h) * 0,15}{1000} = 1,759\text{€}$$

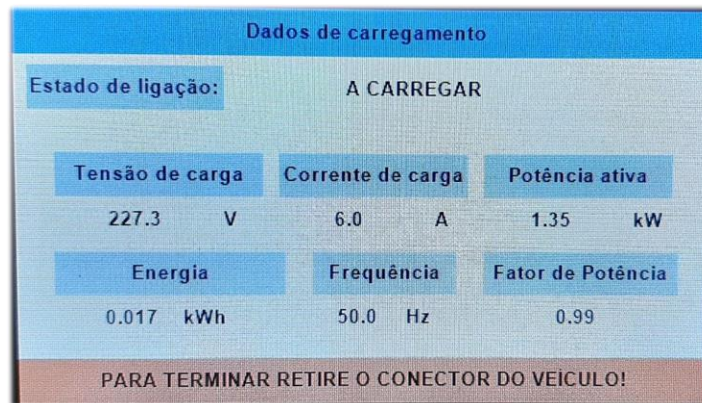


Figura 60- Dados de carregamento durante o Teste 2

A estimativa de custo apresentada ao utilizador foi de 1,76€.

Na Figura 60 estão representados os valores apresentados no display e na Figura 61 estão representadas as medições obtidas de tensão (227,4V) e corrente (5,68A) respetivamente.



Figura 61- Dados de tensão e corrente obtidos pelo multímetro respetivamente

As medidas obtidas por ambos os equipamentos (PZEM004T e multímetro) foram obtidas precisamente no mesmo ponto do circuito, contudo as capturas apresentadas nas figuras foram obtidas em momentos diferentes.

Em ambos os testes, os custos estimados apresentados no *display* coincidem com os valores calculados, o que prova que a fórmula foi corretamente inserida no programa.

As diferenças nas medições de tensão entre os 2 equipamentos são bastante aproximadas, variando no máximo de 1V. Contudo, uma vez que não foi possível medir e registar instantaneamente os dados dos dois equipamentos, é possível que o próprio valor de tensão tenha alterado entre registos. Relativamente à corrente, obtiveram-se medições com cerca de 300mA de diferença entre o multímetro e o PZEM004T. Esta situação poderá também ter influência pela diferença temporal entre medições, mas também sobre as diferenças de precisão dos equipamentos.

Como representado na Tabela 14, a Norma SAE J1772 define os tempos máximos em que o EVSE deverá alternar entre determinados estados. Para efetuar estas medidas recorreu-se a um cronómetro. Nas condições 3,4 e 5 da mesma tabela foi possível verificar que o protótipo respondeu dentro do tempo máximo admissível. Na condição nº6 apenas foi possível simular recorrendo ao simulador desenvolvido e também foi possível verificar que o tempo de resposta foi inferior aos 3 segundos assinalados na tabela. A condição nº2 não é relevante para o uso do conector J1772 do tipo 2, uma vez que o veículo disponibiliza de *interlock* e bloqueia o conector durante o carregamento e caso o utilizador decida retirar o conector, será necessário desbloquear o *interlock* através da chave do veículo. Neste momento o VE envia imediatamente o PWM correspondente ao estado “Conectado sem estar a carregar”.

6. CONCLUSÕES

Este capítulo referencia os pontos chave do projeto desenvolvido, sustentado pela síntese das principais conclusões retiradas e as perspectivas de trabalho futuro.

6.1. CONTRIBUIÇÕES

Esta dissertação de mestrado assumiu o objetivo de compreender a Norma SAE J1772 e construir um protótipo funcional e adequado para instituições como o ISEP.

O presente trabalho levou ao desenvolvimento de um protótipo com capacidade de comunicação com o VE, interação com o utilizador através do *display* tátil, medição de tensão e corrente ao longo do carregamento e consequentemente obtenção da energia consumida por cada utilizador, identificação do utilizador com recurso a um leitor RFID e capacidade de ligação à internet por *wi-fi*, dessa forma, no final de cada carregamento, o protótipo envia um e-mail com os dados relativos ao carregamento.

Este projeto permitiu explorar, entender e testar o protocolo de comunicação na maioria dos cenários possíveis e através disso, manipular os valores de corrente em função das necessidades inseridas por cada um dos utilizadores. Foi também um grande desafio a integração para estabelecer comunicação entre o módulo RFID, PZEM004T e principalmente com o Nextion com o ESP32.

Esta versão do protótipo é perfeitamente funcional e serve o propósito a que se propõe, no entanto há vários aspetos que poderiam ser melhorados. Ao nível de *hardware* o PCB produzido manualmente, poderá facilmente ter algum problema de má ligação. Para melhorar e integrar este protótipo em menos espaço, seria interessante implementar um único PCB onde se pudesse inserir/integrar o PZEM-004T e integrar também a fonte de alimentação no PCB principal. As proteções de potência poderiam ficar alojadas no quadro elétrico que alimentaria o equipamento e desta forma, dentro do EVSE apenas haveria o PCB, os relés de potência, ligação com o Nextion e módulo RFID, assim como as ligações de potência com o VE. Deveria também ser contabilizado e apresentado ao utilizador qual

foi o tempo despendido em cada carregamento. Este dado poderia ser relevante para a análise de utilização deste equipamento.

6.2. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

De forma a se garantir uma correta identificação do utilizador, registo das interações com o equipamento e registo dos consumos por utilizador é necessário que seja desenvolvida uma integração entre as bases de dados do sistema de informação do ISEP (SI-ISEP) e o protótipo desenvolvido. Desta forma, o acesso de cada utilizador a este equipamento só será validado se o número de série do seu cartão RFID constar nas referidas bases de dados. Da mesma forma, no final do carregamento, o protótipo enviará para os SI-ISEP o período de carregamento (início e fim) e a energia em kWh correspondente aos carregamentos de cada utilizador. Esta informação deverá posteriormente estar disponível no ISEP-Portal para a fácil consulta/pagamento por parte dos utilizadores.

Será também proveitoso desenvolver uma aplicação móvel que permita ao utilizador consultar em tempo real no seu telemóvel todos os dados de carregamento instantâneo e o custo do carregamento, alertando-o através de, por exemplo, uma notificação quando o veículo terminar o carregamento ou assumir um estado de erro.

Referências Bibliográficas

- [1] S. Eletric, “www.se.com,” [Online]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=COM-POWER-VE-CA3-EN&p_File_Ext=.PDF. [Acedido em 15 02 2021].
- [2] Rebeka Raff, Velimir Golub, Denis Pelin, Danijel Topić, “Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles,” p. 6, 06 07 2019.
- [3] V. Bobanac, “www.hrvojepandzic.com,” 09 2019. [Online]. Available: http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf. [Acedido em 15 02 2021].
- [4] MOHAMED Y. METWLY, MAHMOUD S., ABDEL-MAJEED, AYMAN S. ABDEL-KHALIK, RAGI A. HAMDY, MOSTAFA S. HAMAD, SHEHAB AHMED, “A Review of Integrated On-Board EV Battery Chargers: Advanced Topologies, Recent Developments and Optimal Selection of FSCW Slot/Pole Combination,” IEEE Access, 2020.
- [5] Janamejaya Channegowda, Vamsi Krishna Pathipati, Sheldon S. Williamson, “Comprehensive Review and Comparison of DC Fast,” IEEE, Ontário, 2015.
- [6] Murat Yilmaz, Philip T. Krein, “Review of Charging Power Levels and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles,” *IEE*, p. 8, Abril 2012.
- [7] Anurag Sharma, Rajesh Gupta, “PV-Battery Supported Level-1 DC Fast charger for,” p. 5, 31 05 2019.
- [8] Murat Yilmaz, Philip T. Krein, “Review of Charging Power Levels and Infrastructure,” p. 8, 8 03 2012.
- [9] I.-. I. Standard, “IEC 61851-1,” 2010.

- [10] Tianjin Chen, Xiao-Ping Zhang, Jianji Wang, Jianing Li, Cong Wu, Mingzhu Hu, Huiping Bian, “A Review on Electric Vehicle Charging Infrastructure Development in the UK,” *IEEE*, p. 13, março 2020.
- [11] D. Hanauer, “Mode 2 Charging—Testing and Certification for International Market Access,” p. 9, 20 07 2018.
- [12] Justine Sears, David Roberts, Karen Glitman, “A Comparison of Electric Vehicle Level 1 and Level 2 Charging Efficiency,” p. 4, 26 07 2014.
- [13] S. Electric, “Schneider Electric- EVlink Smart Wallbox - 7.4/22 kW,” [Online]. Available:
file:///C:/Users/a.sousa/Downloads/EVlink%20Smart%20Wallbox_EVB1A22P4RI.pdf. [Acedido em 20 01 2021].
- [14] “TUDelft,” [Online]. Available: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-3-2-lecture-notes-ac-and-dc-charging/>. [Acedido em 20 january 2021].
- [15] IEC, “IEC 62196-1,” International Electrotechnical Commission, London, 2003.
- [16] J. O. d. U. Europeia, “Diretiva relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos,” em *DIRETIVA 2014/94/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 22 de outubro de 2014*, Bruxelas, 2014.
- [17] K. N. Mude, “Battery Charging Method for Electric Vehicles: From Wired to On-Road Wireless Charging,” *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 4 12 2018.
- [18] Xin Li, Yan Chen, “Research And Discussion on Electric Vehicles Charging Cable Testing Methods In Different Standard Systems,” *IEEE*, p. 4, 29 11 2015.
- [19] H.S. Das, M.M. Rahman, S.Li, C.W.Tan, “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,” *Elsevier*, p. 27, 2020.

- [20] Christian Lewandowski, Sven Groning, Jens Schmutzler, Christian Wietfeld, “Interference Analyses of Electric Vehicle Charging Using PLC on the Control Pilot,” *IEEE*, p. 6, 2012.
- [21] T. Instruments, “SAE J1772-Compliant Electric Vehicle Service Equipment Reference Design for Level 1 and 2 EV Charger,” p. 38, 2019.
- [22] Dr. Volker Schwarzer, Dr. Reza Ghorbani, “Current State-of-the-Art of EV Chargers,” *Electric Vehicle Transportation Center*, p. 19, Fevereiro 2015.
- [23] Siemens, “VersiCharge™ Electric Vehicle - Datasheet,” 2019.
- [24] Siemens, “Siemens electric vehicle make-ready solutions,” 2019.
- [25] S. Electric, “se.com,” [Online]. Available: <https://www.se.com/pt/pt/product-range/63506-evlink-smart-wallbox/?selected-node-id=12144272353#tabs-top>. [Acedido em 02 02 2021].
- [26] S. Eletric, “Folha de dado do produto EVB1A7PCKI”.
- [27] Bosch, “Bosch Mobility Solutions,” [Online]. Available: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/mobility-services/connected-charging-solutions/charging-services/charge-my-ev/>. [Acedido em 03 02 2021].
- [28] Bosch, “Bosch EV Solutions,” [Online]. Available: <https://www.boschevsolutions.com/en-ca/charging-stations/ev200-series?sku=EL-51245-B>. [Acedido em 03 02 2021].
- [29] Wallbox, “Folha de dados técnicos Commander 2,” [Online]. Available: file:///C:/Users/a.sousa/Downloads/PT_Fichas-t%C3%A9cnicas_Commander2.pdf. [Acedido em 03 02 2021].
- [30] Wallbox, “Wallbox.com,” [Online]. Available: https://wallbox.com/pt_pt/wallbox-commander-2. [Acedido em 03 02 2021].

- [31] Maria Carmen Falvo, Danilo Sbordone, I. Safak Bayram, Michael Devetsikiotis, “EV Charging Stations and Modes: International Standards,” *IEEE*, p. 6, 18-20 junho 2014.
- [32] Paulo G. Pereirinha, João P. Trovão, Victor Santos, “Electric Propulsion Vehicles Standardization: Where Are We?,” p. 6, Maio 2016.
- [33] IEC, “61851-1”.2011.
- [34] IEC, “61008-1,” p. 131, 2012.
- [35] S. International, “SAE J1772 - Surface Vehicle Recommended Practice,” p. 51, Janeiro 2010.
- [36] E. Systems, “ESP32 Series Datasheet,” p. 65, 2021.
- [37] T. Instruments, “LF353-N Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier,” p. 19, 03 2013.
- [38] Kingtronics, “RKT-3296 Datasheet”.
- [39] Microchip Technology, “2N7000 - N-Channel Enhancement-Mode Vertical DMOS FET,” p. 14, 2021.
- [40] O. Corporation, “G5NB PCB Power Relay,” p. 7, 2020.
- [41] V. Semiconductors, “1N4148 / 1N4448 - Small Signal Fast Switching Diodes,” p. 5, 2005.
- [42] Walfront, “PZEM-004T V3.0 User Manual,” p. 7.
- [43] Velleman, “User Manual - VMA405,” p. 6, 05 2019.
- [44] N. -. I. STUDIO, ITEAD STUDIO, 2021. [Online]. Available: <https://nextion.tech/datasheets/nx4827t043/>. [Acedido em 2021].

- [45] Hager, “Hager.pt,” [Online]. Available: <https://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuicao-de-energia/proteccao/interruptores-diferenciais/3948.htm>. [Acedido em 2021].
- [46] Arduino, “Arduino,” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Acedido em 2021].
- [47] M. Balboa, “Github,” 2020. [Online]. Available: <https://github.com/miguelbalboa/rfid>. [Acedido em 2021].
- [48] mandulaj, “Github- PZEM-004T-v3,” [Online]. Available: <https://github.com/mandulaj/PZEM-004T-v30>. [Acedido em 2021].
- [49] mobizt, “Github- mobizt,” [Online]. Available: <https://github.com/mobizt/ESP-Mail-Client>. [Acedido em 2021].

