

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAUL JUNGES LISTON

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTES DE
CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS**

FLORIANÓPOLIS
2024

RAUL JUNGES LISTON

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTES DE
CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Mateus Nava Mezaroba, Msc.

Coorientador: Prof. Telles Brunelli Lazzarin, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Liston, Raul Junges
DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTES DE
CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS / Raul Junges Liston ;
orientador, Mateus Nava Mezaroba, coorientador, Telles
Brunelli Lazzarin, 2024.
79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Engenharia Elétrica. 3.
Carregadores para veículos elétricos. 4. Mobilidade
elétrica. 5. Dispositivo de testes para carregadores de
veículos elétricos. I. Mezaroba, Mateus Nava. II. Lazzarin,
Telles Brunelli. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

Raul Junges Liston

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTES DE CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 11 de Julho de 2024.



Documento assinado digitalmente

Miguel Moreto

Data: 06/08/2024 07:42:01-0300

CPF: ***.850.100-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Miguel Moreto, Dr.

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Mateus Nava Mezaroba

Data: 11/07/2024 14:14:34-0300

CPF: ***.100.130-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Mateus Nava Mezaroba, Msc.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Gierry Waltrich

Data: 11/07/2024 16:31:10-0300

CPF: ***.757.199-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Gierry Waltrich, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

JOABEL MOIA

Data: 11/07/2024 21:22:06-0300

CPF: ***.191.709-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Joabel Moia, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina

Ao meu pai e à minha mãe, que não mediram esforços
para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha mãe, que sempre fez o possível e o impossível para que eu pudesse chegar até aqui, ao meu pai, que sempre permitiu que eu sonhasse alto e forneceu todas as condições para eu me tornar quem sou hoje, e ao meu irmão, pelos conselhos e apoios ao longo desta jornada.

Estendo os agradecimentos a todos os membros da minha família, que sempre me ajudaram através do apoio e da torcida durante a minha graduação.

Agradeço também aos meus amigos que conheço desde os meus primeiros passos em direção à engenharia, aos meus amigos de Pinhalzinho, em especial Arthur, Eduardo, Pedro, Alexandre, Victor, Edir Jr., Bruno e Maurício, e aos de Chapecó, especialmente Lucas, João Francisco, João Vitor, Murilo e Rafaela. Meus mais sinceros agradecimentos por torcerem por mim e ajudarem a manter nossas amizades vivas, apesar da distância. Da mesma forma, a todos os amigos que fiz no Polo, em especial Felipe, Gustavo, Diego, Guilherme, João, ao grande mentor Alexsandro e ao Prof. Christian.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo da minha graduação, especialmente Jairo, Isaque, Maria, Laerson, Teodora, Breno, Felipe, Gabriel e Lucas, por fazerem esses anos mais leves e divertidos, com um agradecimento especial ao amigo Mateus, pela amizade incondicional ao longo destes anos de graduação.

Quero agradecer também a todos os colegas e amigos que fiz na WeCharge, que viram de perto o desenvolvimento deste trabalho, sempre compreensivos e me apoiando. Estendo os agradecimentos também aos demais amigos que fiz no mercado da mobilidade elétrica.

Agradeço ao meu orientador e coorientador por abraçarem a ideia do projeto e apoiarem sempre que necessário para o sucesso deste projeto.

As engineers, we were going to be in a position to change the world, not just study it.
(Henry Petroski)

RESUMO

Este trabalho abordou o desenvolvimento de um dispositivo emulador de veículo elétrico para testes de estações de recarga. Inicialmente, foram revisadas as normas vigentes, principalmente a NBR IEC 61851 e a NBR 17019, que estabelecem os requisitos e condições para a instalação e operação de sistemas de recarga condutiva para veículos elétricos. A partir dessas normas, foram definidos os requisitos essenciais para o projeto do dispositivo. No desenvolvimento, foram consideradas as funcionalidades obrigatórias e adicionais necessárias para a operação do dispositivo. O circuito proposto foi baseado no circuito proposto na NBR IEC 61851, com ajustes e inclusões de componentes para atender aos requisitos levantados. Os testes realizados mostraram que o dispositivo desenvolvido atende aos requisitos das normas e funcionalidades propostas, possibilitando a verificação do funcionamento adequado das estações de recarga, incluindo a simulação de diferentes condições de operação e falhas. O dispositivo demonstrou ser uma ferramenta útil para validar a segurança e a conformidade das estações de recarga com as normas vigentes.

Palavras-chave: Estação de Recarga; Emulador de VE; Dispositivo de Teste; Mobilidade Elétrica.

ABSTRACT

This work addressed the development of an electric vehicle emulator device for testing charging stations. Initially, the current standards were reviewed, primarily NBR IEC 61851 and NBR 17019, which establish the requirements and conditions for the installation and operation of conductive charging systems for electric vehicles. From these standards, the essential requirements for the device design were defined. In the development, mandatory and additional functionalities necessary for the device's operation were considered. The proposed circuit was based on the circuit proposed in NBR IEC 61851, with adjustments and inclusion of components to meet the identified requirements. The tests carried out showed that the developed device meets the standards and proposed functionalities, allowing the verification of the proper operation of charging stations, including the simulation of different operating conditions and failures. The device proved to be a useful tool for validating the safety and compliance of charging stations with current standards.

Keywords:Charging Station; EV Emulator; Testing Device; Electric mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição do setor das estações de recargas para EVs. Adaptado de (RAJENDRAN <i>et al.</i> , 2021)	21
Figura 2 – Topologia dos HEVs. Adaptado de (EVGO, 2024)	23
Figura 3 – Topologia do <i>powertrain</i> PHEV. Adaptado de (EVGO, 2024)	24
Figura 4 – Topologia do <i>powertrain</i> BEV. Adaptado de (EVGO, 2024)	25
Figura 5 – Carregador Portátil. Fonte: (WECHARGE, 2024)	26
Figura 6 – Exemplo de Carregador Wallbox. Fonte (WECHARGE, 2024).	27
Figura 7 – Estação de recarga QC45. Fonte:(EFACEC, 2024)	28
Figura 8 – Carregador <i>High Power</i> . Fonte: Adaptado de (ABB, 2024)	28
Figura 9 – Exemplo de DC de 60 kW fabricante Wallbox. Fonte:(WECHARGE, 2024)	33
Figura 10 – Plugue Tipo 1 SAE J1772. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024)	34
Figura 11 – Plugue Tipo 2. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024)	35
Figura 12 – Interface de recarga CCS: Adaptado de (COMBINED. . . , 2015)	35
Figura 13 – Normas relacionadas ao CCS: Adaptado de (COMBINED. . . , 2015)	36
Figura 14 – Composição dos Plugues CCS: Adaptado de (MLIU92, 2024)	37
Figura 15 – Plugue e pinos do PLugue GB/T. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024) e (MLIU92, 2024)	37
Figura 16 – Plugue CHAdeMO. Fonte: Adaptado de (MLIU92, 2024)	38
Figura 17 – Plugue Tesla. Fonte: Adaptado de (MLIU92, 2024)	39
Figura 18 – Circuito-piloto de comando típico. Fonte (ABNT, 2021a)	43
Figura 19 – Circuito elétrico proposto. Fonte: Elaboração Própria.	51
Figura 20 – Chave MTS-103. Fonte:(MTS. . . , 2024)	53
Figura 21 – Chave LW28-20-4. Fonte:(CHAVE. . . , 2024)	53
Figura 22 – medidor de energia. Adaptado de (SINGLE. . . , 2024)	55
Figura 23 – Tomada selecionada. Fonte (TOMADA. . . , 2024)	56
Figura 24 – Soquete Tipo 2 utilizado.	56
Figura 25 – Maleta escolhida. Fonte: Elaboração Própria.	57
Figura 26 – Placa com os componentes soldados. Fonte: Elaboração Própria.	57
Figura 27 – Disposição dos componentes para interface com o operador. Fonte: Elaboração Própria.	58
Figura 28 – Resultado final da montagem do dispositivo. Fonte: Elaboração Própria.	58
Figura 29 – Carregador disponível. Fonte: Elaboração Própria.	59
Figura 30 – Sinal CP sem conexão com o dispositivo. Fonte: Elaboração Própria.	60
Figura 31 – Carregador em espera. Fonte: Elaboração Própria.	60
Figura 32 – Forma de onda do carregador em espera. Fonte: Elaboração Própria.	61

Figura 33 – Carregador no estado carregando. Fonte: Elaboração Própria.	62
Figura 34 – Forma de onda do fio-piloto (CP) no estado C. Fonte: Elaboração Própria.	62
Figura 35 – <i>Display</i> do medidor de energia energizado. Fonte: Elaboração Própria.	63
Figura 36 – Carregador em erro devido ao dispositivo requerer ventilação. Fonte: Elaboração Própria.	64
Figura 37 – Sinal fio-piloto solicitando ventilação. Fonte: Elaboração Própria.	64
Figura 38 – Teste de transferência de energia. Fonte: Elaboração Própria.	65
Figura 39 – Sinal fio-piloto durante transferência de energia e limite de 10 A. Fonte: Elaboração Própria.	66
Figura 40 – Carregador após a interrupção da conexão PE. Fonte: Elaboração Própria.	67
Figura 41 – Carregador em erro após curto-circuito entre CP e PE. Fonte: Elaboração Própria.	68
Figura 42 – Identificação da corrente diferencial-residual. Fonte: Elaboração Própria.	69
Figura 43 – DDR desarmado após a simulação de corrente diferencial-residual $I_{\Delta n}$. Fonte: Elaboração Própria.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 – Especificações Plugue Tipo 1 SAE J1772	34
Tabela 4 – Especificações do plugue Tipo 2	34
Tabela 5 – Especificações do plugue GB/T	37
Tabela 6 – Especificações do plugue CHAdeMO V1.0	38
Tabela 7 – Especificações do plugue Tesla 0	39
Tabela 8 – Requisitos NBR 61851	42
Tabela 9 – Corrente Máxima a ser consumida pelo veículo. Adaptado de: (ABNT, 2021a)	43
Tabela 10 – Legenda do circuito proposto. Adaptado de: (ABNT, 2021a)	44
Tabela 11 – Valores e parâmetros do circuito piloto de comando para VE e valores aplicáveis ao veículo elétrico. Adaptado de: (ABNT, 2021a)	44
Tabela 12 – Requisitos NBR 17019	46
Tabela 13 – Lista de requisitos selecionados	47
Tabela 14 – Estados do sistema detectados pelo sistema de alimentação para VE. Adaptado de (ABNT, 2021a)	47
Tabela 15 – Informações técnicas linha MTS. Fonte:(MTS..., 2024)	52
Tabela 16 – Informações técnicas Chave. Fonte:(CHAVE..., 2024)	53
Tabela 17 – Informações técnicas Diodo SB560. Fonte:(SCHOTTKY..., 2012)	54
Tabela 18 – Informações técnicas medidor de energia. Fonte:(SINGLE..., 2024)	55
Tabela 19 – Informações técnicas Tomada TBSE-PT. Fonte:	55
Tabela 20 – Métricas do ponto V_a no estado B - Em espera	61
Tabela 21 – Métricas do ponto V_a no estado C	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
AC	Corrente Alternada
BEV	<i>Battery Electric Vehicles</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
CCS	Sistema de Carregamento Combinado
CP	<i>Control Pilot</i>
DC	Corrente contínua
DDR	Disjuntor Diferencial-residual
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EVSE	<i>Electric Vehicle Charging Station</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
KERS	<i>Kinetic Energy Recovery Systems</i>
MHEV	<i>Micro Hybrid Electric Vehicle</i>
NBR	Norma Brasileira
OBC	<i>Onboard Charger</i>
OCPP	<i>Open Charge Point Protocol</i>
PCB	<i>Protective Earthing</i>
PE	<i>Protective Earthing</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PVC	Policloreto de Vinila
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
UE	União Europeia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VE	Veículo Elétrico
WPT	<i>Wireless Power Transfer</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volt
A	Amper
D_{in}	Razão Cíclica
$I_{\Delta n}$	Corrente Diferencial-residual
V_a	Tensão no ponto A da Figura 18
R_{Amax}	Resistência máxima para o resistor R_4

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	MOTIVAÇÃO	18
1.2	OBJETIVO GERAL	19
1.2.1	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO DA LITERATURA E CONTEXTUALIZAÇÃO	21
2.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS	22
2.1.1	HEV	22
2.1.2	PHEV	23
2.1.3	MHEV	24
2.1.4	BEV	24
2.1.5	FCEV	25
2.2	CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS	25
2.2.1	Tipos de carregadores	26
2.2.1.1	Carregadores Portáteis ou de Emergência	26
2.2.1.2	Wallbox	27
2.2.1.3	Estação	27
2.2.1.4	<i>High Power</i>	28
2.2.2	Normas Vigentes no Brasil	29
2.2.3	Modos de recarga	31
2.2.3.1	Modo 1	31
2.2.3.2	Modo 2	31
2.2.3.3	Modo 3	31
2.2.3.3.1	<i>Funções do Modo 3</i>	32
2.2.3.4	Modo 4	33
2.2.4	Tipos de plugues	33
2.2.4.1	Tipo 1 (SAE J1772)	33
2.2.4.2	Tipo 2 (IEC 62196)	34
2.2.4.3	CCS	35
2.2.4.4	GB/T 20234	37
2.2.4.5	CHAdeMO	38
2.2.4.6	Tesla ou NACS	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	NORMAS E REQUISITOS DO PROJETO	41
3.1.1	Requisitos com base na NBR IEC 61851	42
3.1.2	Requisitos com base na NBR 17019:2022	45
3.1.3	Requisitos adicionais	46
3.2	TESTES	47

4	DESENVOLVIMENTO	49
4.1	DEFINIÇÃO DO CIRCUITO	49
4.1.1	Falta de continuidade de PE	49
4.1.2	Curto circuito entre CP e PE	49
4.1.3	Alternar entre os estados de sinal	49
4.1.4	Permitir a interrupção do fio-piloto	49
4.1.5	Não permitir a energização	50
4.1.6	Permitir o teste de dispositivo DDR	50
4.1.7	Testar transferência de energia	50
4.1.8	Permitir acompanhar as principais métricas	50
4.1.9	Seleção de Fase para teste	51
4.1.10	Pontos de medição	51
4.1.11	Circuito proposto	51
4.2	ESCOLHA DOS COMPONENTES	52
4.2.1	Escolha das chaves	52
4.2.2	Escolha dos resistores	54
4.2.3	Escolha do diodo	54
4.2.4	Escolha do medidor de energia	54
4.2.5	Escolha da tomada	55
4.2.6	Escolha do Soquete	56
4.2.7	Escolha da Maleta	56
4.3	MONTAGEM	57
5	RESULTADOS	59
5.1	TESTE DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS	59
5.2	TESTE DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA	65
5.3	TESTE DE INTERRUÇÃO DE PE	67
5.4	TESTE DE CURTO-CIRCUITO ENTRE FIO-PILOTO E PE	67
5.5	TESTE DE CORRENTE DIFERENCIAL-RESIDUAL	68
6	CONCLUSÕES	71
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
	Referências	73
	ANEXO A – ANEXO A - INFORMAÇÕES TÉCNICAS CARREGADOR WALLBOX	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, a mobilidade sustentável tem se tornado cada vez mais presente nas discussões relacionadas à preservação do meio ambiente. Por mais de 120 anos, os motores de combustão interna (ICE, do inglês *internal combustion engine*), com uma eficiência média inferior a 30%, têm sido a principal forma de tração para os principais modelos de veículos, como carros de passeio, utilitários esportivos (SUVs), caminhões e ônibus (EMADI, 2011), utilizando principalmente combustíveis derivados do petróleo. O uso desses combustíveis libera gases como o dióxido de carbono (CO_2), um dos gases mais vinculados ao efeito estufa, o monóxido de carbono (CO), que é tóxico e venenoso, e material particulado, como a fuligem (C). Ademais, em centros urbanos, embora haja diversas fontes de poluição do ar, os veículos a combustão interna ainda são considerados a maior fonte dessa poluição, que é responsável por efeitos prejudiciais ao clima e à saúde humana (GIREESH KUMAR *et al.*, 2021).

As emissões desses gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2), provenientes da queima dos combustíveis utilizados pelos veículos de transporte rodoviário (automóveis, ônibus, caminhões, etc.), podem superar as emissões associadas ao setor industrial em determinadas regiões. No estado de São Paulo, Brasil, essas categorias de veículos são responsáveis por 81% das emissões de CO_2 do setor de transporte, equivalendo a aproximadamente 46% do total das emissões de CO_2 registradas neste estado (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Contudo, a migração da frota para veículos elétricos ou híbridos *plug-in* enfrenta desafios em duas frentes principais: no lado do veículo, o custo das baterias pode chegar até um terço do custo total do veículo (KÖNIG *et al.*, 2021), fazendo com que ainda possuam preço maior se comparado aos veículos a combustão. Além disso, a autonomia menor e o número de carregadores são as maiores objeções dos motoristas em relação à mudança para veículos elétricos (POWER, 2024). Somado a isso, garantir a disponibilidade e potência das estações de recarga pelo território, considerando que o Brasil é o 5º maior país do mundo em extensão territorial e o 7º país mais populoso, torna-se um dos principais desafios desse mercado.

Entretanto, o mercado de veículos elétricos cresce em ritmo acelerado. Segundo dados da Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), o número de veículos eletrificados dobrou em dois anos no Brasil (ABVE, 2023). Não obstante, a infraestrutura de recarga tenta acompanhar a demanda com a instalação de novos eletropostos espalhados pelo Brasil. Todavia, por se tratar de um mercado relativamente novo, a falta de equipamentos no mercado nacional torna-se um desafio para os profissionais aproveitarem as oportunidades geradas pelo setor, como a instalação e manutenção de estações de recarga, que exigem equipamentos muitas vezes difíceis de serem encontrados no mercado nacional.

O desenvolvimento de um dispositivo de testes para estações de recarga pode facilitar uma etapa muito importante na instalação ou manutenção de um carregador para veículos elétricos, como a validação da instalação e a realização de um teste operacional. Isso se dá ao fato de nem sempre os profissionais possuírem um veículo elétrico à disposição. Dessa forma, um equipamento para teste pode suprir uma demanda importante na implantação de novas estações de recarga, facilitando os testes e validações, além de poder diminuir os custos de instalação. Além disso, a utilização de um dispositivo de teste pode assegurar a qualidade e a segurança dos carregadores de veículos elétricos, contribuindo para a eficiência das instalações e a satisfação dos usuários finais.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo e desenvolvimento de um dispositivo de testes para carregadores de veículos elétricos, de forma a emular um veículo elétrico e possibilitar a realização de testes e validações em uma estação de recarga instalada. Para atingir esse objetivo, serão abordados os modos de recarga, tipos de veículos elétricos, tipos de carregadores e suas classificações, além dos diferentes tipos de plugues encontrados em carregadores disponíveis comercialmente, de acordo com as principais normas vigentes no Brasil. O estudo incluirá a análise dos princípios de funcionamento dos carregadores, a comparação entre diferentes tecnologias de recarga e a avaliação dos aspectos práticos para a implementação de um sistema de testes eficiente e confiável.

1.2.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho, tem-sê os seguintes itens:

- Estudar e identificar os tipos de veículos eletrificados presentes no mercado atual;
- Estudar e identificar os modos de recarga de veículos elétricos *plug-in*;
- Estudar e identificar os tipos de plugues utilizados por montadoras no mercado automobilístico;
- Estudar e analisar as principais normas dos carregadores para veículos elétricos no Brasil;
- Identificar e listar os requisitos necessários para a validação de um carregador operando em Modo 3, conforme as normas e requisitos práticos;
- Projetar um dispositivo para validação de estações de recarga operando em Modo 3 para plugues do Tipo 2 que possibilite os testes de comunicação, fuga de corrente, curto-circuito do fio-piloto, circuito de piloto-comando aberto e fornecimento de corrente em 3 fases;

- Selecionar componentes comerciais e construir o dispositivo real;
- Validar o dispositivo em situação real de uso.

2 REVISÃO DA LITERATURA E CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização de veículos elétricos (VEs) possui fatores que impactam diretamente a vida das pessoas, como a não emissão direta de dióxido de carbono ou material particulado no local onde são utilizados. Dessa forma, a adoção de veículos elétricos pode auxiliar na melhoria da qualidade do ar nas cidades (RUGGIERI *et al.*, 2021). Além disso, os VEs são silenciosos e produzem menos vibrações comparados aos veículos a combustão, características ideais para áreas residenciais e centros urbanos. A redução da poluição sonora e atmosférica contribui para um ambiente mais saudável e pode melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas, além de reduzir o impacto ambiental dos sistemas de transporte.

Como a mobilidade elétrica ainda é uma novidade para a maior parte da população, é necessário oferecer uma visão geral do tema, abordando os principais componentes, classificações e tecnologias relacionadas a esse setor. Este capítulo apresentará uma visão geral dos aspectos fundamentais da mobilidade elétrica, incluindo os tipos de carregadores para veículos elétricos, os modos de recarga, os tipos de veículos, os plugues disponíveis e os cenários de uso. A Figura 1 ilustra os principais tipos de carregadores em relação à forma de transferência de energia, aos modos de recarga, aos tipos de veículos e aos plugues disponíveis, e será detalhada ao longo do capítulo.

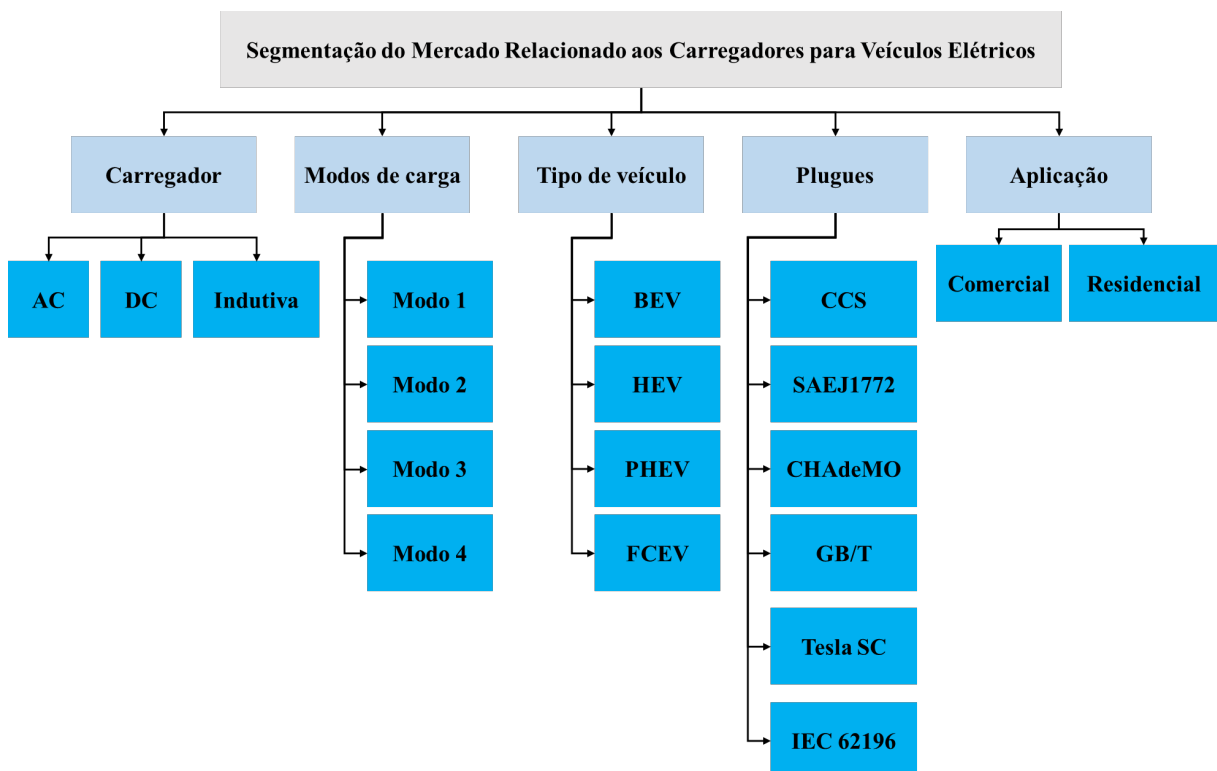


Figura 1 – Composição do setor das estações de recargas para EVs. Adaptado de (RAJENDRAN *et al.*, 2021)

Na Figura 1, pode-se observar que um carregador pode possuir inúmeras variações.

É natural que, em um mercado em ascensão, existam diversas tecnologias e estruturas no início, mas que, com o passar do tempo, essas variações tendam a convergir para um número menor de padrões. Um exemplo desse processo é o caso dos conectores para *smartphones*, onde a vasta maioria dos dispositivos móveis já utiliza cabos Tipo C, que se tornará obrigatório na União Europeia (UE) a partir de dezembro de 2024 (PARLIAMENT, 2024).

Essa convergência é esperada na mobilidade elétrica, como já iniciado pela União Europeia, onde uma diretiva vigente exige que todos os pontos de recarga estejam, para fins de interoperabilidade, equipados pelo menos com tomadas ou conectores Tipo 2 para recargas em corrente alternada (AC) e com conectores do Sistema de Carga Combinado (CCS/Combo 2), para pontos de recarga em DC (EUROPEAN UNION, 2014).

Para entender o cenário brasileiro, será feita uma revisão geral do setor de mobilidade elétrica. Serão apresentadas as principais normas vigentes no Brasil, as classificações de carregadores e os tipos de plugues disponíveis no mercado, com ênfase no que está presente no mercado brasileiro. O estudo começará com a revisão dos tipos de veículos elétricos e, em seguida, abordará as normas e padrões relevantes para carregadores e plugues, destacando as características e requisitos específicos para a realidade nacional.

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Atualmente, existem diversos tipos de veículos elétricos, cuja classificação se baseia principalmente no tipo de tração que o veículo possui e na fonte de energia utilizada para gerar tração. A seguir, serão apresentados os principais tipos de veículos eletrificados presentes no mercado brasileiro, abordando suas características e classificações de acordo com as normas e tendências atuais.

2.1.1 HEV

Os veículos híbridos, normalmente chamados de híbridos convencionais (*HEV*, do inglês *Hybrid Electric Vehicle*), possuem dois tipos de motores: um elétrico e um a combustão, e a tração pode ser fornecida ao eixo por ambos os motores. A energia que alimenta as baterias é proveniente de duas fontes. A primeira forma é por meio do motor a combustão, que gera torque para o motor elétrico, que atua como um gerador, carregando a bateria. A segunda forma é por meio de frenagens regenerativas. A frenagem regenerativa é uma tecnologia importante em veículos híbridos que contribui para a eficiência energética. Durante a frenagem, o motor elétrico é utilizado para converter a energia cinética do veículo em eletricidade (atuando como gerador), a qual é então armazenada na bateria. Esse processo não apenas melhora a eficiência do veículo, mas também prolonga a vida útil dos freios, reduzindo o desgaste e a necessidade de manutenção. O Sistema de Recuperação de Energia Cinética (KERS, do inglês *Kinetic Energy Recovery Systems*) é um exemplo de

tecnologia que implementa essa estratégia em veículos híbridos e elétricos (JOSHI *et al.*, 2017). O diagrama da Figura 2 ilustra a composição do *powertrain* de um veículo HEV.

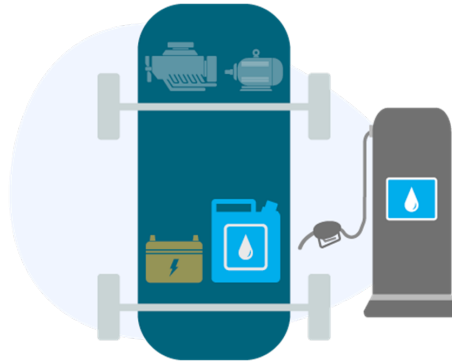


Figura 2 – Topologia dos HEVs. Adaptado de (EVGO, 2024)

2.1.2 PHEV

Os veículos híbridos *plug-in* (*PHEV*, do inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) também possuem um motor elétrico e um a combustão. A tração pode ser fornecida ao eixo por ambos os motores ao mesmo tempo, e a energia que alimenta as baterias pode ser proveniente de recargas, utilizando um carregador, ou da frenagem regenerativa apresentada anteriormente. A grande maioria dos veículos híbridos *plug-in* realiza recargas apenas em corrente alternada e possui uma autonomia em modo 100% elétrico normalmente abaixo de 100 km. Por exemplo, o Volvo XC60 possui uma bateria de 18,7 kWh que permite até 78 km de autonomia no modo 100% elétrico, o que é mais do que a média de deslocamento diário de um brasileiro. Contudo, alguns veículos mais recentes, como o Haval H6 GT, também oferecem carregamento rápido em corrente contínua. No caso do Haval H6 GT, sua bateria de 33,99 kWh fornece energia para até 170 km de autonomia no modo 100% elétrico e mais de 1.000 km no modo combinado. Esses veículos sinalizam o início de uma maior participação da tração elétrica em veículos híbridos, comparado aos primeiros modelos, onde a tração elétrica era secundária no *powertrain*.

O diagrama da Figura 3 mostra a composição do *powertrain* de um veículo PHEV.

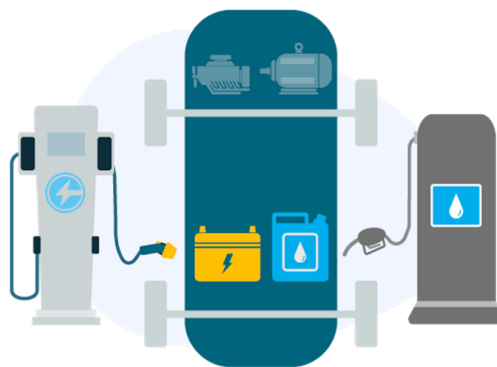


Figura 3 – Topologia do *powertrain* PHEV. Adaptado de (EVGO, 2024)

2.1.3 MHEV

Uma categoria recentemente adotada pela ABVE (Associação Brasileira de Veículos Elétricos) na classificação dos veículos eletrificados no Brasil é a dos chamados MHEV, comumente conhecidos como híbridos leves e micro-híbridos (do inglês, *Micro Hybrid Electric Vehicle*). Esse tipo de veículo não possui tração elétrica, ao contrário dos HEV (híbridos convencionais) e PHEV (híbridos *plug-in*). Essa classificação é utilizada para veículos que o motor elétrico contribui para a tração do veículo, mas sim em outros recursos como *star-stop*, onde o veículo desliga o motor a combustão em paradas, como nos semáforos, e o conjunto de motor elétrico e bateria apenas atua como motor de arranque (para o motor a combustão). Apesar desse tipo de veículo não parecer se enquadrar muito como um veículo eletrificado, a sua classificação fiscal pode ser a mesma dos veículos híbridos leves ou *plug-in*, fato este que motivou a menção a este tipo de veículo neste trabalho.

2.1.4 BEV

Os BEVs ou Veículos Totalmente Elétricos (do inglês *Battery Electric Vehicles*) se locomovem apenas com tração proveniente de motores elétricos e utilizam como fonte de energia apenas a energia armazenada em um ou mais bancos de baterias do veículo.

Nesses veículos, a energia das baterias é recarregada principalmente utilizando carregadores externos. Além disso, a bateria também é recarregada durante o deslocamento, através da frenagem do veículo, utilizando os motores como geradores.

O diagrama da Figura 4 apresenta a composição do *powertrain* de um veículo BEV.

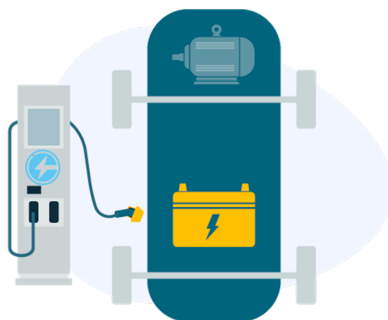


Figura 4 – Topologia do *powertrain* BEV. Adaptado de (EVGO, 2024)

2.1.5 FCEV

Os veículos elétricos movidos a célula de combustível (FCEVs, do inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*) utilizam um sistema de propulsão semelhante ao dos veículos elétricos, onde a energia armazenada como hidrogênio é convertida em eletricidade pela célula de combustível. FCEVs são abastecidos com gás hidrogênio puro armazenado em um tanque no veículo. As principais vantagens dos FCEVs são o menor tempo de abastecimento (cerca de 3 minutos, contra 25 de um BEV em carga rápida), uma autonomia maior, menor pegada de carbono na produção e maior facilidade na reciclagem dos componentes da célula de combustível (VENGATESAN; JAYAKUMAR; SADASIVUNI, 2024). Em contrapartida, os veículos elétricos a bateria estão mais presentes no mercado atualmente, dispondo de uma rede de recarga muito maior se comparada ao hidrogênio, além de terem custo menor e menos passos entre a geração da energia e a tração do veículo.

2.2 CARREGADORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os carregadores para veículos elétricos podem ser classificados de diferentes maneiras, conforme apresentado na Figura 1, onde pode-se observar quatro possíveis segmentações: o método de transferência de energia, o modo de carga, o tipo de plugue e sua aplicação. Contudo, para os motoristas de veículos elétricos, esses equipamentos podem ser apresentados de diversas formas.

No caso de carregadores AC, é importante destacar que o carregador de fato está embarcado dentro do veículo, denominado OBC (*onboard charger*). A estação AC tem o papel de controle e segurança na interface do veículo com a rede elétrica, mas a conversão de corrente alternada para contínua é realizada pelo OBC, e a recarga é controlada pelo Sistema de Gerenciamento das Baterias (BMS, do inglês *Battery Management System*).

Apesar de não realizar a etapa de retificação, a utilização de carregadores AC permite o uso de tecnologias e recursos chamados de *smart charging*, que possibilitam funcionalidades como controle de demanda estático e dinâmico, agendamento de recargas, o que permite uma utilização mais eficiente da infraestrutura elétrica disponível, reduzindo

custos e permitindo a recarga de mais de um veículo simultaneamente. Outro recurso é a comunicação via *Open Charge Point Protocol* (OCPP), um protocolo de comunicação aberto para estações de recarga, que viabiliza o uso comercial dos carregadores, realizando a conexão do carregador a um *software* de gestão e a aplicativos de recarga, possibilitando a cobrança de recargas, por exemplo.

2.2.1 Tipos de carregadores

Os carregadores para veículos elétricos são dispositivos essenciais para a operação dos veículos elétricos (VEs), responsáveis por fornecer a energia necessária para recarregar as baterias dos veículos. Esses carregadores podem ser classificados de diferentes maneiras, dependendo de diversos fatores como método de transferência de energia, modo de carga, tipo de plugue e aplicação específica.

O mercado de carregadores para VEs é diversificado, apresentando uma ampla gama de equipamentos, desde carregadores portáteis de uso emergencial até estações de alta potência para recarga ultrarrápida. A seguir, serão apresentados os principais tipos de carregadores disponíveis no mercado, com suas características específicas e aplicações típicas.

2.2.1.1 Carregadores Portáteis ou de Emergência

Esse tipo de carregador é comumente utilizado em situações de emergência ou em viagens, pois permite a conexão a tomadas residenciais de 20 A para a recarga do veículo. Muitas vezes, esse tipo de carregador é entregue junto com os veículos no momento da compra. A Figura 5 apresenta um exemplo de carregador portátil.



Figura 5 – Carregador Portátil. Fonte: (WECHARGE, 2024)

2.2.1.2 Wallbox

Os carregadores do tipo *Wallbox*, ou, em uma tradução literal, carregadores de parede, são os mais indicados para uso doméstico e também para aplicações comerciais. São carregadores normalmente instalados em paredes ou em pedestais, projetados para uma instalação permanente, com circuito dedicado e todas as proteções exigidas por normas técnicas. Os carregadores *Wallbox* estão disponíveis em versões de 7 kW (32 A, monofásico), 11 kW (16 A, trifásico) e 22 kW (32 A, trifásico), e podem incluir recursos de *smart charging*, permitindo instalações otimizadas e inteligentes. Esses recursos possibilitam a integração com aplicativos de redes de recarga, oferecendo funcionalidades como o acompanhamento do status dos carregadores e a tarifação das recargas. Os carregadores do tipo *Wallbox* têm potências variando de 7,4 kW a 22 kW. Um exemplo de carregador *Wallbox* é apresentado na Figura 6.



Figura 6 – Exemplo de Carregador Wallbox. Fonte (WECHARGE, 2024).

2.2.1.3 Estação

As estações de recarga são carregadores para veículos elétricos que possuem uma montagem mecânica mais robusta. Além disso, são majoritariamente utilizadas em operações públicas e, geralmente, possuem mais de um plugue. Podem ser do tipo AC, DC ou combinadas, e sua operação compartilha várias características com as dos carregadores *Wallbox*. Um exemplo de uma estação de recarga é o modelo QC45, da fabricante portuguesa EFACEC, que possui dois plugues DC, um CCS e um CHAdeMO, além de um plugue AC Tipo 2. A Figura 7 apresenta o modelo de estação QC45.



Figura 7 – Estação de recarga QC45. Fonte:(EFACEC, 2024)

2.2.1.4 High Power

Os carregadores chamados *High Power* são geralmente equipamentos com potências superiores a 100 kW ou 150 kW, conhecidos como carregadores ultrarrápidos. Esses carregadores podem adotar uma topologia *all-in-one*, onde os módulos de potência estão localizados no ponto de recarga, permitindo que a cabine de potência do carregador fique a uma certa distância das vagas de recarga e a estação tenha um aspecto mais compacto e leve para o usuário. Um exemplo de estação de recarga com a cabine de potência separada é apresentado na Figura 8.



Figura 8 – Carregador *High Power* . Fonte: Adaptado de (ABB, 2024)

Na Figura 8, é possível observar ao fundo (contornado em vermelho) a cabine de potência, e nas vagas apenas o ponto de recarga para interface com o veículo e com o usuário.

2.2.2 Normas Vigentes no Brasil

Uma das principais normas relacionadas aos sistemas de recarga para veículos elétricos no Brasil é a norma ABNT NBR IEC 61851, que aborda os modos de recarga e os principais requisitos aplicáveis aos sistemas de alimentação para veículos elétricos utilizados para recarregamento. O conjunto de normas descrito pela ABNT NBR IEC 61851 compreende as seguintes partes:

- Parte 1: Estabelece a base para essas regulamentações, com foco nos sistemas de alimentação em corrente alternada para veículos elétricos. Esta parte define os requisitos gerais para o processo de recarga, incluindo aspectos como a conexão elétrica e a segurança dos sistemas.
- Partes 21-1 e 21-2: Direcionam suas exigências para os carregadores, tanto embarcados quanto externos, considerando aspectos de Compatibilidade Eletromagnética para conexões condutivas em corrente alternada e contínua. Essas partes não abordam sistemas de transferência de energia sem fio, do inglês wireless power transfer (WPT).
- Parte 23: Concentra-se nas estações permanentes de recarga em corrente contínua, detalhando as especificações técnicas e as conexões necessárias por cabo e plugue para essa modalidade de recarga. Esta parte estabelece os requisitos para a instalação e operação de carregadores DC.
- Parte 24: Estabelece os requisitos para a comunicação entre o veículo elétrico e a estação de recarga durante a recarga em corrente contínua, fornecendo diretrizes para o controle e a gestão do processo de recarga. Esta parte detalha os protocolos de comunicação necessários para uma recarga eficiente e segura.

Essas partes, em sua totalidade, representam um conjunto de diretrizes essenciais para garantir a eficiência e a segurança dos sistemas de carregamento e alimentação de veículos elétricos.

Elementos esses, descritos na norma ABNT NBR IEC 61851-1 introduzida acima. Diferentes métodos de recarga são possíveis: alguns veículos elétricos podem ser conectados diretamente a tomadas convencionais de alimentação elétrica, enquanto outros exigem sistemas dedicados de recarga, incorporando circuitos de controle e comunicação.

Além da norma ABNT NBR IEC 61851, também é imprescindível citar a norma ABNT NBR IEC 62196, que estabelece especificações para plugues, tomadas, conexões

móveis e fixas, além de cabos de recarga para veículos elétricos. Esta norma complementa a ABNT NBR IEC 61851-1, a qual foi introduzida acima, ao definir as características técnicas desses componentes essenciais para o processo de recarga.

A ABNT NBR IEC 62196 cobre diferentes métodos de recarga para veículos elétricos, abordando desde a conexão direta a tomadas convencionais até sistemas dedicados que incorporam circuitos de controle e comunicação para uma recarga mais eficiente e segura. Esta norma estabelece requisitos mecânicos, elétricos e de desempenho para plugues, tomadas e conectores móveis e fixos, com o propósito de assegurar uma interface adequada entre equipamentos de recarga e veículos elétricos.

- Parte 1: Estabelece requisitos gerais aplicáveis a plugues, tomadas e conectores para veículos elétricos.
- Parte 2: Define requisitos dimensionais para a compatibilidade e intercambiabilidade de acessórios com pinos e contatos-tubulares para corrente alternada.
- Parte 3: Especifica requisitos dimensionais para a compatibilidade e intercambiabilidade de conjuntos de conectores para veículos elétricos, com pinos e contatos-tubulares, tanto para corrente contínua quanto para corrente alternada/contínua.

De maneira geral, as normas ABNT NBR IEC 61851 e ABNT NBR IEC 62196 são as duas principais referências para os componentes e sistemas relacionados à recarga de veículos elétricos, fornecendo uma visão dos principais requisitos para o desenvolvimento de projetos nessa área. Além dessas normas, outras diretrizes relacionadas à segurança e aos dispositivos elétricos e eletrônicos em geral também devem ser consideradas, dependendo dos requisitos específicos de cada projeto.

Uma norma mais recente que complementa essas diretrizes é a ABNT NBR 17019:2022, que aborda as Instalações Elétricas de Baixa Tensão com foco em locais especiais e a alimentação de veículos elétricos. Esta norma, baseada na IEC 60364-7-722:2018, especifica os requisitos para a instalação elétrica destinada a alimentar veículos elétricos e/ou receber energia elétrica a partir deles. A NBR 17019:2022 substitui alguns trechos da NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, que estabelece condições e regras para instalações elétricas de baixa tensão até 1.000 V em corrente alternada e 15.000 V em corrente contínua no Brasil.

Em suma, essas normas formam a base para a regulamentação e a prática dos sistemas de recarga para veículos elétricos no Brasil. Com base nessas diretrizes, serão apresentados a seguir os modos de recarga e, posteriormente, os tipos de conectores utilizados nas estações de recarga para veículos elétricos.

2.2.3 Modos de recarga

2.2.3.1 Modo 1

No Modo 1 de Carregamento (Tomada doméstica e cabo de extensão), o carregamento é realizado a partir de uma tomada de energia padrão com um simples cabo de extensão, sem qualquer forma de comunicação entre o veículo elétrico e a fonte de energia. No entanto, é imprescindível que haja um condutor de aterramento entre o plugue normalizado e a tomada móvel para garantir a segurança do sistema de recarga. O Modo 1 foi proibido em diversos países, como Estados Unidos e Reino Unido, devido a questões de segurança e à falta de controle sobre o processo de recarga. A conexão do veículo elétrico à rede elétrica em corrente alternada (AC) utilizando tomadas padronizadas é limitada a 16 A e 250 V monofásicos ou 480 V trifásicos.

2.2.3.2 Modo 2

No Modo 2, o veículo é conectado à rede elétrica por meio de um cabo e plugue que inclui um sistema de controle intermediário, conhecido como fio-piloto, que realiza a comunicação entre o veículo e a fonte de energia, além de fornecer um sistema de proteção contra choques elétricos. A conexão de carregamento no Modo 2 é limitada a 32 A e 250 V monofásicos ou 480 V trifásicos.

Usualmente, os carregadores do Modo 2 são chamados de carregadores portáteis ou carregadores de emergência. O risco associado a esse tipo de carregador é que ele pode atingir correntes de até 32 A, o que é superior ao limite de 20 A de tomadas residenciais comuns. Contudo, esse risco é mitigado pelo uso correto de circuitos dedicados para recarga em correntes e potências maiores, ou pela limitação da potência do equipamento, de forma a não ultrapassar o limite do circuito e o ponto de conexão com a rede elétrica..

2.2.3.3 Modo 3

No Modo 3, o veículo elétrico (VE) é conectado a um carregador que permanece permanentemente ligado à rede elétrica. Esse carregador é equipado com uma função-piloto que se estende desde a estação de recarga até o veículo, fornecendo uma conexão AC ao VE e utilizando o carregador interno do veículo para a conversão de energia.

Esse modo de carga é o mais recomendado para recargas AC, tanto em uso doméstico quanto público, devido à sua instalação permanente e ao circuito dedicado de alimentação, que atende a todas as normas aplicáveis e permite o uso de sistemas de gestão de demanda. Esses sistemas são essenciais para otimizar a infraestrutura elétrica, especialmente em edifícios de uso coletivo.

Embora a ABNT NBR IEC 61851-1 não defina explicitamente os limites de tensão e corrente para o Modo 3, ele geralmente suporta correntes de até 70 A em conexões monofásicas (250 V) e 63 A em trifásicas (480 V), resultando em potências de até 44 kW.

Usualmente, o Modo 3 é encontrado em carregadores do tipo Wallbox e estações de recarga do tipo AC.

2.2.3.3.1 Funções do Modo 3

Como este é o modo em estudo neste trabalho, serão abordadas a seguir as funções obrigatórias do Modo 3, conforme apresentadas no item 6.3 da ABNT NBR IEC 61851-1, que são requisitos de projeto para o presente trabalho:

- Verificação contínua da conexão elétrica: A estação de recarga deve monitorar continuamente a conexão elétrica entre a estação e o VE. Em caso de perda de continuidade elétrica do condutor de proteção (circuito-piloto aberto), o sistema de alimentação deve desconectar a alimentação em até 100 ms. Se houver incapacidade de verificar a continuidade, como em um curto-circuito entre fio-piloto e condutor de proteção, a desconexão deve ocorrer em menos de 3 s.
- Detecção da continuidade do circuito-piloto: A estação de recarga deve verificar se o VE está corretamente conectado ao sistema de alimentação, detectando a continuidade do circuito-piloto.
- Energização do VE: A energização do VE só pode ser realizada após a verificação da conexão e com os estados de sinal permitindo a alimentação. A transferência de energia está sujeita a fatores adicionais, como sistemas de gestão de energia ou demanda. Se o VE exigir ventilação, a estação de recarga deve garantir que a ventilação está adequadamente assegurada pela instalação no local.
- Desenergização do VE: A desenergização deve ocorrer se o sinal do piloto de comando for interrompido ou se o estado do piloto de comando não permitir mais a energização, mesmo que a continuidade do circuito-piloto seja mantida.
- Corrente admissível máxima: A estação de recarga deve informar ao VE a corrente máxima permitida, sem exceder a corrente de saída nominal da EVSE e a corrente nominal do cabo de recarga para VE. A corrente pode ser ajustada para valores menores, e se a corrente exceder o limite, a EVSE pode interromper a alimentação de energia.

Essas funções garantem que o Modo 3 ofereça uma recarga segura e eficiente, atendendo aos requisitos técnicos e de segurança para a instalação de sistemas de carregamento para veículos elétricos.

2.2.3.4 Modo 4

O Modo 4 é orientado para recargas em corrente contínua e é utilizado em carregadores frequentemente chamados de rápidos ou ultrarrápidos. Nesse modo de carga, a EVSE está conectada permanentemente à rede de alimentação, seja em corrente alternada (AC) ou corrente contínua (DC). O Modo 4 também inclui uma função-piloto que se estende da EVSE DC até o veículo elétrico (VE), além de um condutor de aterramento.

No Brasil, os requisitos para o Modo 4 são detalhados na ABNT NBR IEC 61851-23. O nível de tensão para este modo é de até 1000 V e as correntes podem chegar a até 400 A, permitindo potências de até 350 kW. Esse modo de carga é comumente encontrado em carregadores DC, como ilustrado no modelo da Figura 9.



Figura 9 – Exemplo de DC de 60 kW fabricante Wallbox. Fonte:(WECHARGE, 2024)

2.2.4 Tipos de plugues

2.2.4.1 Tipo 1 (SAE J1772)

O conector SAE J1772-2009 é projetado para tensões alternadas e conexões bifásicas ou monofásicas de 120 V e 240 V, respectivamente, como os usados na América do Norte e no Japão. Este conector possui cinco pinos, com três tamanhos diferentes de pinos, que desempenham funções específicas: Fase (L1), Neutro (N), Condutor de proteção (PE), Detecção de Proximidade (PP) e Fio-piloto (CP). Suas principais especificações estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações Plugue Tipo 1 SAE J1772

Característica	Valor
Conector	SAE J1772
Corrente máxima	80 A
Tensão AC	120 - 240 V
Potência	1,44 - 19,20 kW
Modo de recarga	1-3

A Figura 10 apresenta uma imagem e as conexões presentes no conector Tipo 1.

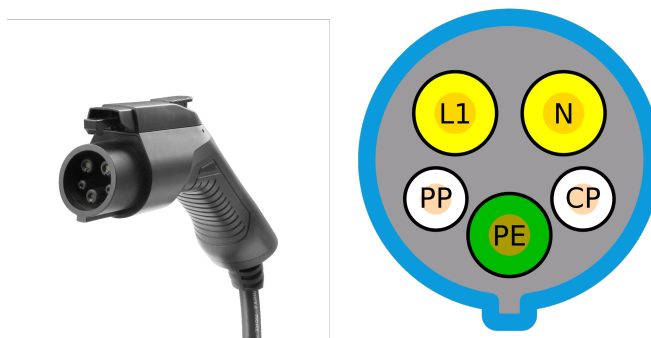


Figura 10 – Plugue Tipo 1 SAE J1772. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024)

2.2.4.2 Tipo 2 (IEC 62196)

O conector IEC 62196 Tipo 2 é projetado para sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos e é o tipo de plugue mais utilizado no Brasil e na Europa. O conector possui sete pinos, com dois diâmetros diferentes (Linha AC 1, Linha AC 2, Linha AC 3, Neutro, Detecção de Proximidade, Fio-piloto e Terra). Suas principais características estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações do plugue Tipo 2

Característica	Valor
Conector	IEC 62196 Mennekes Tipo 2
Corrente máxima	63 A
Tensão	Até 250 V em fase única e 400 V em conexão trifásica.
Potência	Até 63 kW
Modo de carga	1-3

A Figura 11 apresenta o plugue Tipo 2 e seus contatos.

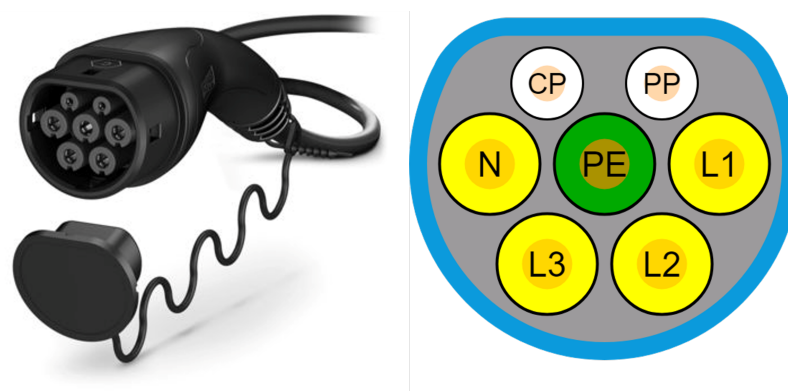


Figura 11 – Plugue Tipo 2. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024)

2.2.4.3 CCS

O Sistema de Carregamento Combinado (CCS, do inglês *Combined Charging System*) é baseado em padrões abertos e universais para veículos elétricos, elaborado por uma organização alemã composta pelas montadoras Audi, Porsche, BMW, Daimler e Volkswagen. O CCS combina o carregamento monofásico com carregamento trifásico rápido utilizando corrente alternada, com um máximo de 43 kW, bem como carregamento de corrente contínua, com um máximo de até 350 kW, em um único sistema (COMBINED... , 2015).

O CCS refere-se ao plugue do carregador e ao soquete do veículo, além de todas as funções de controle. Ele também gerencia as comunicações entre o veículo elétrico e a infraestrutura, fornecendo uma solução completa para todas as necessidades de carregamento. A Figura 12 apresenta um conceito geral da interface e padronização CCS.

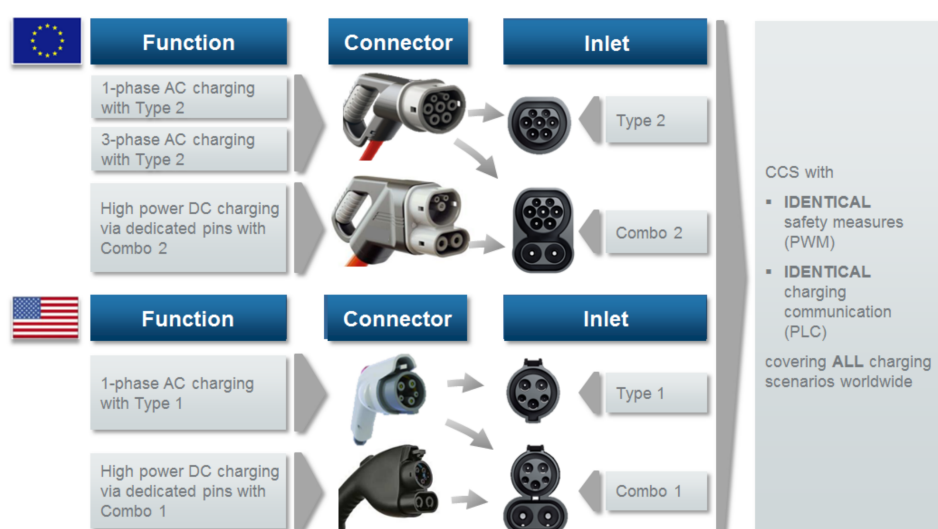


Figura 12 – Interface de recarga CCS: Adaptado de (COMBINED... , 2015)

As principais características do Sistema de Carregamento Combinado incluem as seguintes diretrizes:

Carregamento AC:

- Especificação de interface elétrica para transferência de energia, que inclui sinalização relacionada à segurança para carregamento AC, conforme o padrão internacional IEC 61851-1.
- Conformidade com o conector Tipo 2 utilizado na Europa (e também no Brasil), conforme o padrão internacional IEC 62196-2.
- Para o mercado dos EUA, o Sistema de Carregamento Combinado utiliza os conectores Tipo 1 e Combo 1, bem como a entrada correspondente, conforme descrito nos mesmos documentos de padronização. Isso garante a compatibilidade e a interoperabilidade entre diferentes marcas e modelos de veículos elétricos.

Carregamento DC:

- Com a especificação de interface elétrica para transmissão de energia, que inclui sinalização relacionada à segurança para carregamento DC que está em conformidade com o padrão internacional IEC 61851-23;
- Com o conector Combo 2 na Europa, em conformidade com o padrão internacional IEC 62196-3;
- A interface de comunicação entre o veículo elétrico e o ponto de carregamento, baseada no padrão internacional ISO/IEC 15118 e na DIN SPEC 70121 alemã.

A Figura 13 apresenta as normas principais que compõem o CCS, organizando em função da velocidade de recarga.

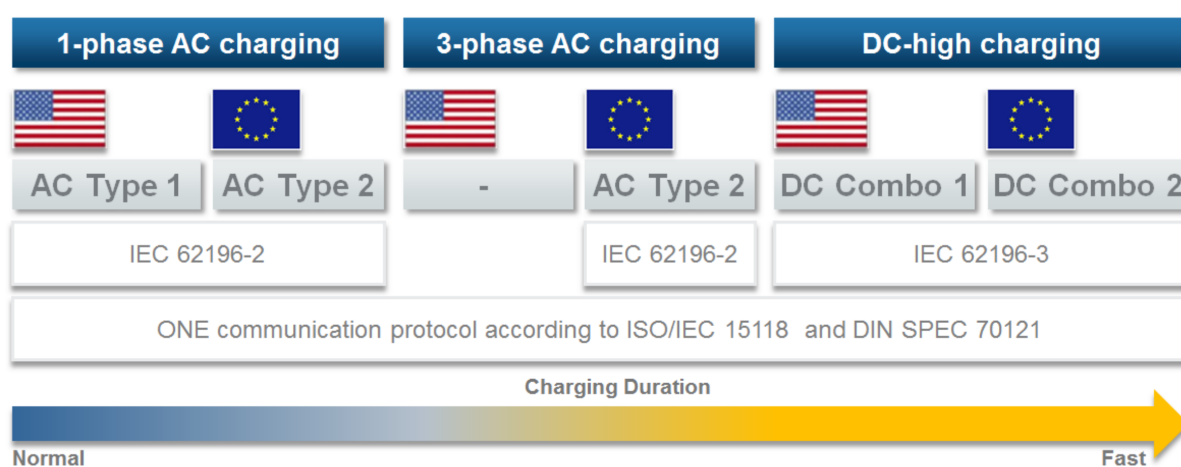


Figura 13 – Normas relacionadas ao CCS: Adaptado de (COMBINED..., 2015)

Os conectores do tipo CCS1 e CCS2 são compostos pela junção dos plugues Tipo 1 e Tipo 2 com dois contatos DC para a transferência de energia diretamente para a bateria do veículo, sendo o processo controlado pelo sistema de gerenciamento da bateria (BMS, do inglês *Battery Management System*). A Figura 14 apresenta a pinagem dos plugues CCS, enquanto a imagem do conector real pode ser observada na Figura 12.

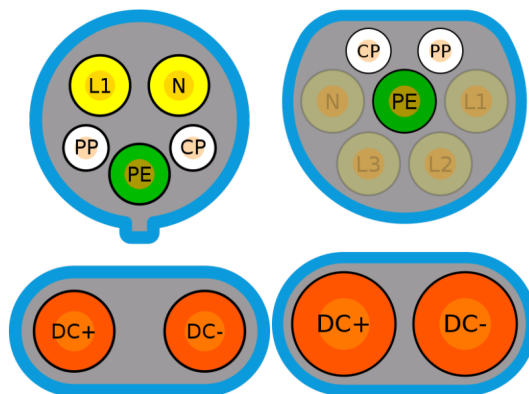


Figura 14 – Composição dos Plugues CCS: Adaptado de (MLIU92, 2024)

2.2.4.4 GB/T 20234

O conector GB/T 20234.2-2011 AC é projetado para tensões de 220 V ou 400 V, como os utilizados na China. O conector possui sete pinos, com três diâmetros diferentes de pinos: L1, L2 e L3 para as tres fases AC, Neutro (N), Detecção de Proximidade (PP), Fio-piloto (CP) e Condutor de proteção (PE). As principais características deste tipo de plugue são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações do plugue GB/T

Característica	Valor
Conector	GB/T 20234.2-2011 AC
Corrente máxima	32 A
Tensão	Até 250 V em fase única e 440 V em conexão trifásica.
Potência	2,5 kW - 27,78 kW
Modo de carga	2-3

A Figura 15 apresenta uma ilustração do plugue GB/T AC e suas conexões.

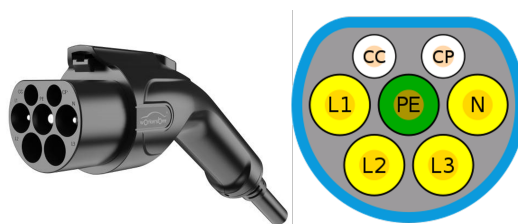


Figura 15 – Plugue e pinos do PLugue GB/T. Fonte: Adaptado de (PHOENIXCONTACT, 2024) e (MLIU92, 2024)

2.2.4.5 CHAdeMO

O conector CHAdeMO é projetado para sistemas elétricos de corrente contínua. Na sua versão mais recente, CHAdeMO 3.0.1/ChaoJi-2, ele atinge potências de até 500 kW. Contudo, sua versão mais popular é a versão 1.0, na qual o conector possui dez pinos, com dois diâmetros diferentes de pinos. As principais características do plugue CHAdeMO V1.0 são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Especificações do plugue CHAdeMO V1.0

Característica	Valor
Conector	CHAdeMO V1.0
Corrente máxima	125 A
Tensão DC	500 V
Potência	62,5 kW
Modo de carga	4

A Figura 16 abaixo apresenta uma ilustração do plugue CHAdeMO V1.0.

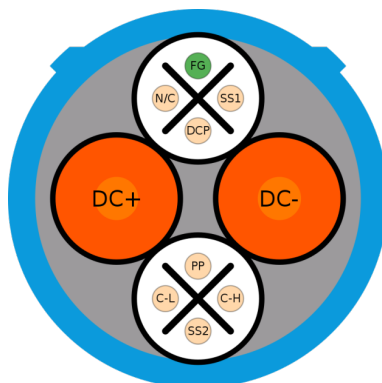


Figura 16 – Plugue CHAdeMO. Fonte: Adaptado de (MLIU92, 2024)

2.2.4.6 Tesla ou NACS

O conector Tesla, ou NACS (do inglês *North American Charging System*), é um tipo de plugue que permite recargas AC ou DC com o mesmo conector. Inicialmente desenvolvido pela Tesla, ele foi padronizado nos Estados Unidos pela normativa SAE J3400 e tem sido adotado por outras montadoras. Este plugue é projetado para sistemas elétricos monofásicos/trifásicos variando de 110 V a 277 V em tensão alternada ou de 500 V a 1.000 V em tensões contínuas. O conector possui cinco pinos, com três diâmetros diferentes de pinos (L1 ou DC+, L2 ou DC-, Neutro, Detecção de Proximidade, Fio-piloto e Confirmação de Conexão). A Tabela 7 apresenta as principais especificações para este plugue, tanto para recargas AC quanto DC.

Tabela 7 – Especificações do plugue Tesla 0

Característica	Valor
Conector	Tesla
Corrente Máxima AC	80 A
Corrente Máxima DC	800 A
Tensão AC	277 V
Tensão DC	500 - 1000 V
Potência AC	Até 22 kW
Modo de carga	2-4

A Figura 17 abaixo apresenta uma imagem e os pinos do plugue Tesla (NACS).

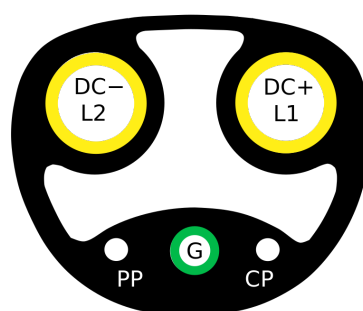


Figura 17 – Plugue Tesla. Fonte: Adaptado de (MLIU92, 2024)

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um dispositivo emulador de veículo elétrico para testes e validações em estações de recarga operando no Modo 3, com plugue Tipo 2, conectadas à rede elétrica. O desenvolvimento do trabalho utilizará como base as normas vigentes relacionadas ao tema (nacionais e internacionais), artigos científicos e dados públicos de órgãos especializados, visando criar um dispositivo que possa auxiliar na instalação de novas estações de recarga, além de gerar conhecimento sobre o funcionamento e a instalação dessas estações.

A metodologia se inicia pela revisão dos requisitos principais apresentados nas normas relacionadas aos testes de recarga condutiva em estações operando no Modo 3, incluindo requisitos adicionais necessários para testes operacionais importantes na etapa de validação de uma estação de recarga.

Na etapa de desenvolvimento, será descrito como os recursos necessários serão implementados para o desenvolvimento do dispositivo e o design do circuito a ser utilizado para testar e validar os requisitos definidos. Com os requisitos estabelecidos, serão escolhidos os componentes com base nas condições de uso e especificações das normas. Após a definição dos componentes e do circuito, será escolhida a forma de montagem do circuito. Com o dispositivo montado, serão definidos e estruturados os testes a serem realizados para a validação do dispositivo utilizando um carregador para veículo elétrico.

Além disso, serão apresentados os métodos e procedimentos para a realização dos testes e validações que garantirão a eficácia e a conformidade do equipamento com as normas vigentes.

3.1 NORMAS E REQUISITOS DO PROJETO

Neste capítulo, serão abordados de maneira objetiva os principais requisitos técnicos e normas relevantes para o desenvolvimento do dispositivo emulador de veículo elétrico, conforme a análise realizada nas normas principais descritas no Item 2.2.2. A seção está estruturada para apresentar os requisitos fundamentais derivados das normas NBR IEC 61851 e NBR 17019, além de requisitos adicionais que foram incorporados ao projeto para ampliar . Finalmente, serão descritos os procedimentos e critérios para a realização dos testes, com base nos requisitos estabelecidos.

3.1.1 Requisitos com base na NBR IEC 61851

Conforme introdução feita na seção 2.2.2, a norma em questão está relacionada ao sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. A NBR IEC 61851, em sua Parte 1, que apresenta os requisitos gerais, especifica as funcionalidades obrigatórias do Modo 3, que também são aplicáveis aos Modos 2 e 4. Estas funcionalidades, descritas no Item 2.2.3.3.1, são essenciais para a segurança da recarga de veículos elétricos e estabelecem as premissas necessárias para iniciar o processo de recarga. Com base nessas funcionalidades obrigatórias da norma, são formulados os primeiros requisitos para o projeto do dispositivo, os quais estão apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Requisitos NBR 61851

Funcionalidade Obrigatória	Requisito do projeto
Verificação contínua da conexão elétrica entre a estação de recarga e o VE. O sistema de alimentação deve desconectar a alimentação em até 100 ms em caso de perda de continuidade elétrica do condutor de proteção e em menos de 3s em caso de incapacidade de verificar a continuidade, por exemplo: em caso de curto-circuito entre fio-piloto e o condutor de proteção.	1. Permitir simular a perda de conexão de PE; 2. Permitir simular curto-circuito entre fio-piloto (CP) e PE;
A energização do VE só pode ser conectada após a verificação do item anterior, e com os estados de sinal permitindo a alimentação. A transferência de energia está sujeita a outros fatores como sistemas de gestão de energia/demanda. Caso o VE esteja no estado que requeira ventilação, o sistema de alimentação só pode alimentar o sistema caso a ventilação esteja assegurada pela instalação o local.	3. Alternar os estados de sinal de forma a permitir energização; 4. Alterar o estado de sinal de forma a requerer ventilação;
A desenergização do VE, deve ser feita caso o sinal do fio-piloto for interrompido, ou caso o estado do fio-piloto não permitir mais a energização, mesmo mantendo a continuidade do circuito-piloto.	5. Permitir a interrupção do sinal do fio-piloto (CP); 6. Permitir a alteração do estado de sinal de forma a não permitir a energização;

Na norma NBR IEC 61851-1:2021, também é apresentada no Anexo A (normativo) a descrição da função-piloto de comando, que utiliza uma modulação por largura de pulsos (PWM, do inglês *pulse width modulation*) para os Modos 2, 3 e 4. É por meio deste circuito e da modulação PWM que, ao alterar a razão cíclica do sinal, a EVSE indica a corrente máxima conforme a Tabela A.8 da Norma, não excedendo as correntes máximas do cabo e disponíveis pela estação, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Corrente Máxima a ser consumida pelo veículo. Adaptado de: (ABNT, 2021a)

Razão cíclica D_{in} do fio-piloto	Corrente máxima Imáx. a ser consumida pelo veículo	Descrição
Razão cíclica $< 3\%$	0 A	Consumo de corrente não permitida
$3\% \leq D_{in} \leq 7\%$	Conforme indicado pela comunicação digital	Uma razão cíclica de 5 % indica que a comunicação digital de acordo com a série ISO/IEC 15118 ou a IEC 61851-24 é requerida e deve ser estabelecida entre a EVSE e o VE antes de assegurar a alimentação. O consumo de corrente não é permitido sem a comunicação digital.
$7\% < D_{in} < 8\%$	0 A	Consumo de corrente não permitido
$8\% \leq D_{in} < 10\%$	6 A	
$10\% \leq D_{in} \leq 85\%$	$D_{in} \times 0,6$ A	
$85\% < D_{in} \leq 96\%$	$(D_{in} - 64) \times 2,5$ A	
$96\% < D_{in} \leq 97\%$	80 A	
$97\% < D_{in} \leq 100\%$	0 A	Consumo de corrente não permitido

Se o sinal PWM estiver entre 8 % e 97 % e existir uma comunicação digital estabelecida, a corrente máxima não pode exceder a corrente indicada para o valor mais baixo do sinal PWM ou da comunicação digital. Nos sistemas trifásicos, o valor da razão cíclica indica o limite de corrente em função de cada fase. O sistema de alimentação para VE pode começar com um valor válido da razão cíclica e poder mudar durante a alimentação elétrica. O VE deve detectar a frequência. Se a frequência estiver fora de $(1 \pm 5\%)$ kHz, convém que o VE não recarregue. Para os VE que utilizam o fio-piloto simplificado, isto não é aplicável. O valor indicado na coluna "Corrente máxima (Imáx.) a ser consumido pelo veículo" não abrange nem a corrente de partida, nem a corrente de fuga, como a corrente que circula pelos capacitores Y.

Ainda no Anexo A, é ilustrado um circuito elétrico equivalente do circuito-piloto de comando, que servirá de base para o design do circuito elétrico utilizado no dispositivo que será desenvolvido neste trabalho. A Figura 18 apresenta tal circuito.

A.2.2 Circuito-piloto de comando típico

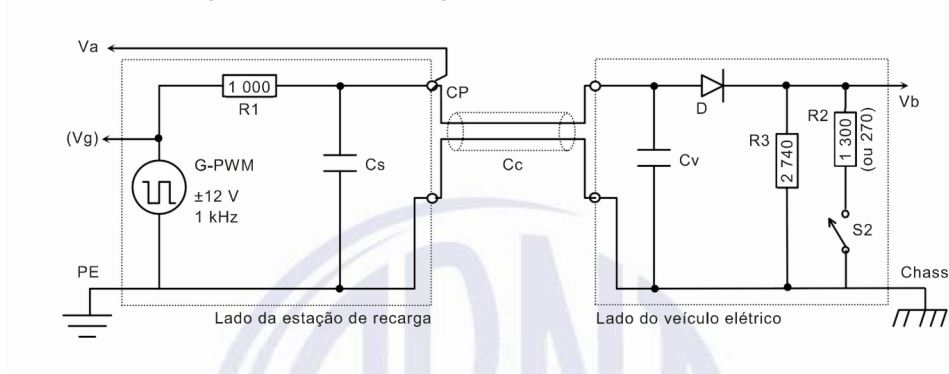


Figura 18 – Circuito-piloto de comando típico. Fonte (ABNT, 2021a)

A Tabela 10 apresenta a legenda do circuito apresentado na Figura 18.

Tabela 10 – Legenda do circuito proposto. Adaptado de: (ABNT, 2021a)

G-PWM	Gerador de sinal PWM para a função-piloto	R2, R3, Cv, D	Conforme definido na Tabela A.3
V_a	Tensão do fio-piloto medida na saída do sistema de alimentação para VE	V_b	Medição da tensão, razão cíclica e da frequência do veículo elétrico
V_g	Tensão interna do gerador de sinal PWM	CP	Contato do fio-piloto
R1, Cs	Conforme definido na Tabela A.2	Chassi	Conexão ao chassi do veículo

Para o presente trabalho, serão analisados os valores e parâmetros aplicáveis ao veículo elétrico e, neste contexto, ao dispositivo que será desenvolvido. Na Tabela A.3 do Anexo A da NBR IEC 61851-1:2021, replicada na Tabela 11 abaixo, são apresentados os valores aplicáveis ao lado do veículo.

Tabela 11 – Valores e parâmetros do circuito piloto de comando para VE e valores aplicáveis ao veículo elétrico. Adaptado de: (ABNT, 2021a)

Parâmetro	Símbolo	Valor mín.	Valor típico	Valor máx.	Unidade
Valor de resistência permanente (Figura A. 1)	R_3	2 658	2 740	2 822	Ω
Valor da resistência comutada para os veículos que não necessitam de ventilação (Figura 18)	R_2 Estado Cx	1 261	1 300	1 339	Ω
Valor da resistência comutada para os veículos que necessitam de ventilação (Figura 18)	R_3 Estado DX	261,9	270	278,1	Ω
Queda de tensão do diodo (D) (2,75 - 10 mA, -40°C à + 85°C)	V_d	0,55	0,7	0,85	V
Tempo de recuperação reversa	T_r	-	-	200	ns
Capacitância de entrada equivalente total ^a	Cv	-	-	2400	pF
Indutância (amortecida) em série adicional opcional ^b	Lsv	-	-	1	mH

a. Para o Modo 3, Caso A, a capacidade equivalente máxima é o total Cc + Cv. Isto é indicado na Tabela A.2.

b. Indutância de amortecimento. Os componentes parasitas e adicionais, como RDamp, frequência, utilizado para o sinal de alta são definidos na Tabela A. 11 da ISO 15118-3: 2015.

Os valores acima serão utilizados na escolha dos componentes para o desenvolvimento do circuito do dispositivo. O circuito no lado da estação de recarga será modificado no desenvolvimento deste trabalho, portanto, não serão abordados os parâmetros do

circuito-piloto de comando e os valores aplicáveis ao sistema de alimentação para o veículo elétrico.

3.1.2 Requisitos com base na NBR 17019:2022

A NBR 17019, introduzida no Item 2.2.2, substitui alguns trechos da NBR 5410, que estabelece condições e regras para instalações elétricas de baixa tensão de até 1.000 V em tensão alternada e 15.000 V em tensão contínua no Brasil. A análise das duas normas orienta as regras a serem seguidas para a instalação de uma estação de recarga operando em Modo 3. Além dos requisitos gerais especificados pela NBR 5410, a NBR 17019 adiciona, no item 6.3.3.2.101, diretrizes específicas para dispositivos de proteção contra corrente residual (DDR) conforme o trecho abaixo.

Os dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual que protegem cada ponto de conexão em corrente alternada, para os modos de recarga 1 e 2, de acordo com 5.1.1.3, devem ter uma corrente diferencial-residual nominal $I_{\Delta n}$ igual ou inferior a 30 mA, e devem atender no mínimo aos requisitos dos dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual do tipo A. Não é permitida a utilização de dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual do tipo AC.

6.3.3.2.102 No caso em que a estação de recarga para VE, para o modo 3 de recarga, for equipada com uma tomada fixa ou tomada móvel para VE de acordo com a série ABNT NBR IEC 62196, as medidas de proteção contra a corrente de falta em corrente contínua indicadas a seguir devem ser atendidas, exceto quando forem asseguradas pela própria estação de recarga para VE:

- a) Utilização de um dispositivo de proteção à corrente diferencial-residual do tipo B; ou
- b) Utilização de um dispositivo de proteção à corrente diferencial-residual do tipo A em conjunto com um dispositivo de detecção de corrente diferencial-residual contínua, de acordo com a IEC 62955; ou
- c) Utilização de um dispositivo de proteção à corrente diferencial-residual do tipo F em conjunto com um dispositivo de detecção de corrente diferencial-residual contínua, de acordo com a IEC 62955.

Os dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual devem ser de acordo com uma das seguintes normas: ABNT NBR IEC 61008-1, IEC 61009-1, ABNT NBR IEC 60947-2 ou ABNT NBR IEC 62423.

As subseções 6.3.3.2.101 e 6.3.3.2.102 não são aplicáveis no caso em que o ponto de conexão for protegido contra choques elétricos pela medida de proteção SELV ou por separação elétrica. (ABNT, 2022)

Ao analisar a norma, foi formulado um requisito de projeto para o teste dos dispositivos de proteção contra corrente diferencial-residual, comumente chamados de DR ou DDR, com correntes superiores a 30 mA, independentemente de a proteção estar assegurada internamente à EVSE ou instalada no quadro de alimentação do equipamento. Dessa forma, foi adicionado um novo requisito ao projeto, apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Requisitos NBR 17019

Normativa	Requisito do projeto
Os dispositivos de proteção à corrente diferencial-residual que protegem cada ponto de conexão em corrente alternada, para os modos de recarga 1 e 2, de acordo com 5.1.1.3, devem ter uma corrente diferencial-residual nominal $I_{\Delta n}$ igual ou inferior a 30 mA.	7. Permitir o teste do dispositivo de proteção à corrente diferencial-residual para correntes superiores a 30mA

3.1.3 Requisitos adicionais

Além dos requisitos formulados diretamente das normas, foram concebidos outros requisitos ao projeto para complementar a gama de testes que podem ser realizados. A primeira funcionalidade incrementada é a adição de uma saída para carga, permitindo a realização de testes de transferência de energia. O objetivo é possibilitar a conexão de uma carga monofásica que consuma pelo menos 6 A, valor mínimo permitido conforme a Tabela 9 e no máximo 20 A.

Também foi incorporada a funcionalidade de monitoramento da transferência de energia, permitindo a observação das principais unidades de medida durante a análise de uma recarga, como a tensão Fase-Neutro em Volts, a corrente elétrica em Amperes e a energia consumida em Quilowatt-hora.

Apesar de o projeto permitir apenas uma carga monofásica, a incorporação de um mecanismo de seleção de fase possibilita a realização de testes em todas as fases das estações de recarga trifásicas.

Adicionalmente, foi implementada a funcionalidade de acompanhamento da razão cíclica do PWM fornecido pela EVSE, com o objetivo de verificar se o valor está de acordo com a configuração ou instalação da estação, uma vez que muitas estações de recarga são instaladas abaixo de sua capacidade máxima, o que requer a limitação de corrente e potência.

Além dessas funcionalidades, o dispositivo também foi projetado com pontos de medição para os principais pontos de interesse no circuito, além do fio-piloto, incluindo a Fase selecionada, o Neutro e a Terra.

Dessa forma, foram adicionados os últimos requisitos do projeto, que estão resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Lista de requisitos selecionados

Requisito	Resumo
1	Permitir simular a perda de conexão de PE
2	Permitir simular curto-circuito entre fio-piloto (CP) e PE
3	Alternar os estados de sinal de forma a permitir energização
4	Alterar o estado de sinal de forma a requerer ventilação
5	Permitir a interrupção do sinal do fio-piloto (CP)
6	Alteração de estado para não permitir energização
7	Permitir o teste do DDR
8	Permitir teste de transferência de energia
9	Permitir acompanhar as principais métricas da recarga
10	Seleção da fase em teste
11	Pontos de medição do sistema

3.2 TESTES

Com base nos requisitos definidos no Item 3.1 e sumarizados na Tabela 13, serão realizados testes de forma a cobrir todos os requisitos apresentados. Para isso, serão utilizadas como referência as Tabelas A.4 e A.5 da NBR IEC 61851, que apresentam os estados e as tensões esperadas em V_a , conforme identificado no circuito da Figura 18. Uma sintetização desses estados e valores de V_a está apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Estados do sistema detectados pelo sistema de alimentação para VE. Adaptado de (ABNT, 2021a)

Estado	Tensão Nominal V_a [V]	Observação
A	12	VE não conectado $V_b = 0$ V
B	9 (PWM)	VE conectado e detectado $R_e = R3 = 2,74$ k Ω detectado
C	6 (PWM)	VE conectado e solicitando energização $R_e = 882$ Ω detectado o VE não requer ventilação na área de recarga
D	3 (PWM)	$R_e = 246$ Ω detectado o VE requer ventilação na área de recarga
E	0	Geralmente causado por condição de erro, como curto circuito entre CP e PE
F	-12	Intencionalmente definido para sinalizar condição de falta, como a necessidade de manutenção do carregador

<p>(PWM) sinaliza que a tensão é gerada de forma de onda quadrada de $\pm 12V$. A ausência de (PWM) sinaliza uma tensão CC em regime contínuo.</p>

Os testes serão realizados utilizando um carregador modelo Wallbox Pulsar Plus 7,4 kW, da Fabricante Wallbox, a Ficha Técnica do carregador é apresentado no Anexo A, que conta com uma plataforma de monitoramento onde é possível acompanhar o status do carregador. Para a realização dos testes, serão utilizados também um multímetro e um osciloscópio. Os testes serão realizados na de forma a monitorar o sinal do fio-piloto, o status do carregador, e a alimentação da carga.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, serão apresentados em detalhe os passos necessários para o desenvolvimento do dispositivo emulador de veículo elétrico a ser montado. Serão abordadas cada etapa do processo, desde a escolha do circuito base e a concepção inicial do projeto até a seleção e montagem dos componentes. Serão discutidos os critérios utilizados para a seleção dos componentes, as técnicas de montagem e os métodos para a realização dos testes de validação, assegurando que o dispositivo atenda aos requisitos específicos para o tipo de estação considerada.

4.1 DEFINIÇÃO DO CIRCUITO

A partir dos requisitos do projeto definidos em 3.1 e apresentados na Tabela 13, foram desenvolvidas alterações ou inclusões no circuito proposto pela NBR IEC 61851, conforme apresentado na Figura 18. A seguir, será apresentada a forma com que cada requisito foi implementado, culminando no circuito final do dispositivo.

4.1.1 Falta de continuidade de PE

Para simular a falta de conexão de PE no circuito piloto-comando, será adicionada uma chave, denominada S_1 , em série com a conexão PE.

4.1.2 Curto circuito entre CP e PE

Para emular o cenário de curto-circuito do fio-piloto com PE, pode ser adicionada uma chave, denominada S_2 , no circuito, em paralelo com o fio-piloto e o condutor de PE.

4.1.3 Alternar entre os estados de sinal

De forma a permitir que sejam alterados os estados de sinal para assegurar a conexão, permitir a energização e requerer ventilação, serão utilizadas duas chaves. A primeira, S_3 , será conectada de maneira a conectar o resistor R_1 e permitir a comutação dos resistores R_2 e R_3 . Para realizar a comutação dos resistores R_2 e R_3 , será adicionada uma chave de 3 posições, denominada S_4 , de maneira a controlar a conexão desses resistores nos 3 casos necessários: ambos desconectados (não permite a energização), R_2 conectado e R_3 desconectado (energização requerida) e, no último caso, com R_3 conectado e R_2 desconectado (energização requerida e ventilação requerida).

4.1.4 Permitir a interrupção do fio-piloto

Como a aplicação de uma chave para este fim teria o mesmo resultado da abertura da chave S_1 , optou-se por não incluir uma chave adicional para este requisito, pois o

mesmo é atendido pelo recurso proposto para o requisito do Item 4.1.1, que já cobre a situação de falta de conexão com o PE. Desta forma, evita-se a redundância no circuito e simplifica-se o design do dispositivo.

4.1.5 Não permitir a energização

Este requisito é atendido pela chave S_4 quando ela está na posição aberta, em que nem R_2 nem R_3 estão conectados. Nessa configuração, o circuito emula o estado onde o veículo não requiere energização.

4.1.6 Permitir o teste de dispositivo DDR

Para este requisito, será necessário provocar uma corrente entre a fase em teste e o condutor PE, o que pode ser feito utilizando uma chave denominada S_6 e um resistor denominado R_4 entre os dois condutores. Com um valor de resistência que permita uma corrente suficiente para acionar o DDR. Como o DDR deve detectar correntes acima de 30 mA, segundo a norma, o primeiro passo é calcular a resistência máxima para este componente. Considerando a tensão de fase-neutro como 220 V, a resistência máxima para o resistor é calculada pela Fórmula 1.

$$R_{4_{max}} = \frac{220V}{30mA} = 7.333 \Omega \quad (1)$$

Sabe-se que a corrente deve ser maior que 30 mA. Logo, na etapa de seleção de componentes, será necessário escolher um resistor com resistência um pouco menor para garantir que o dispositivo DDR seja acionado.

4.1.7 Testar transferência de energia

Para permitir que sejam feitos testes de transferência de energia, foi adicionada uma saída para carga, denominada P_o , conectada aos condutores da fase selecionada, neutro e terra.

4.1.8 Permitir acompanhar as principais métricas

Para cumprir este requisito, optou-se pela escolha de um medidor de energia compacto, que possua as métricas requeridas. O medidor de energia realizará medições de corrente e tensão, potência e o registro da energia transferida pelo teste. O medidor de energia é identificado como *wattmeter* no circuito e foi posicionado após a chave de seleção de fase.

4.1.9 Seleção de Fase para teste

Para que seja possível realizar os testes das 3 fases disponíveis, em caso de estações de recarga instaladas com conexão trifásica, será inserida uma chave seletora de 4 posições, que permitirá alternar entre as 3 fases e uma posição sem conexão com fase. No circuito, a chave para seleção de fase é denominada S_5 .

4.1.10 Pontos de medição

O objetivo de acompanhar a forma de onda do fio-piloto e de outros pontos principais do sistema, como a fase selecionada, o condutor de PE e o condutor neutro, foi alcançado com a adição de pontos de medição desses barramentos. O acompanhamento da forma de onda do fio-piloto permite observar a razão cíclica do sinal PWM enviado pela estação de recarga, que define a corrente máxima configurada na estação, assim como o nível de tensão, permitindo o monitoramento do estado do sistema. Esse monitoramento poderá ser realizado, por exemplo, com um osciloscópio móvel.

4.1.11 Circuito proposto

Após a definição da forma como cada requisito seria atendido por meio de ajustes no circuito proposto no Anexo A da NBR IEC 61851, foi possível realizar o design do circuito elétrico para atender às funcionalidades e aos requisitos de projeto. A Figura 19 apresenta o circuito proposto para o dispositivo.

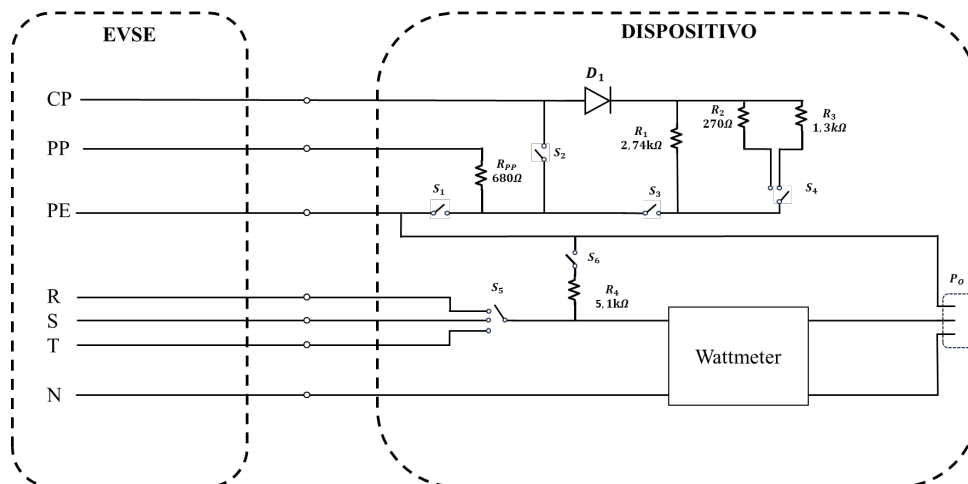


Figura 19 – Circuito elétrico proposto. Fonte: Elaboração Própria.

Além dos dispositivos ajustes propostos acima, para o circuito indicado na norma e apresentado na Figura 18, foram incluídos disjuntores termomagnéticos de 20 A, com curva C, na conexão entre os conectores de potência (3 fases, neutro e PE) entre a EVSE e o dispositivo desenvolvido.

4.2 ESCOLHA DOS COMPONENTES

Com os requisitos de projeto estabelecidos, o próximo passo foi a definição dos componentes para a montagem do circuito. Para a escolha dos componentes, levou-se em conta as informações da Tabela 11, os esforços a qual esses componentes serão sujeitos, o custo e a praticidade/facilidade de compra de cada componente.

4.2.1 Escolha das chaves

Para a escolha das chaves S_1 , S_2 , S_3 e S_6 , foram consideradas as seguintes especificações: para a chave S_6 , que será utilizada no teste do DDR e suportará correntes abaixo de 100 mA, foi considerada uma tensão alternada máxima de 231 V RMS. Para as demais chaves, foi considerada uma tensão de 24 V contínuos e uma corrente máxima de 100 mA. Isso se deve ao resistor de 1Ω em série com o sinal PWM no circuito apresentado na Figura 18, que limita a corrente a no máximo 24 mA.

Com base nos requisitos mencionados, as chaves escolhidas foram da Linha MST, que possuem as características apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Informações técnicas linha MTS. Fonte:(MTS... , 2024)

Característica	Valor
Capacidade	6 A e 125 V ou 3 A e 250 V
Resistência de contato	$20 m\Omega_{max}$
Resistência de isolamento DC	500 V $1000 M\Omega \cdot min$
Rigidez dielétrica AC	1500 V, 1 minuto
Temperatura de operação	$-55^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$
Vida útil	20.000 ciclos

Observando os valores apresentados na Tabela 15 acima, pode-se notar que as chaves da linha MST atendem aos requisitos necessários. Dessa forma, foram definidas as chaves S_1 , S_2 , S_3 e S_6 como o modelo MTS-101, de duas posições (aberta ou fechada). Para a chave S_4 , foi escolhido o modelo MTS-103. Na Figura 20 é apresentada uma imagem da chave MTS-103, similar à MTS-101.



Figura 20 – Chave MTS-103. Fonte:(MTS... , 2024)

Para a chave S_4 , que pertence à parte de potência do circuito proposto, foi considerada uma tensão alternada de 230 V e uma corrente máxima de 20 A, que será o valor máximo a ser tolerado pelo dispositivo. Com esses requisitos, foi escolhida a chave LW28-20-4, de quatro posições, da fabricante SIBRATEC. As principais características da chave são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Informações técnicas Chave. Fonte:(CHAVE... , 2024)

Característica	Valor
Tensão de isolamento	660 V
Corrente Nominal	20 A
Frequência	50/60 Hz
Temperatura de operação	-5°C~+40°C
Terminais de conexão	Até cabos de 2,5 mm ²
Norma	IEC 60947-3

Na Figura 21 é apresentada uma imagem da chave LW28-20-4.



Figura 21 – Chave LW28-20-4. Fonte:(CHAVE... , 2024)

4.2.2 Escolha dos resistores

Para a escolha dos resistores R_1 , R_2 e R_3 , foram considerados os valores apresentados na Tabela 11. Para a escolha do resistor R_{pp} , foi consultada a Tabela B.2 da NBR IEC 61851-1:2021, assumindo uma corrente admissível de 20 A, a resistência selecionada foi de 680Ω . A escolha do resistor R_4 foi feita com base no valor calculado na Equação 1. Contudo, o valor calculado não é um valor típico comercial, portanto, foi escolhido um valor abaixo para garantir que a corrente de fuga gerada seja superior a 30 mA, conforme previsto pela norma. O resistor escolhido foi de $4,7 \text{ k}\Omega$ e 10 W , que gera a corrente calculada na Equação 2.

$$I_{R4} = \frac{220V}{4.700\Omega} = 46,8 \text{ mA} \quad (2)$$

A potência a ser dissipada pelo resistor pode ser calculada pela Equação 3. Onde apesar da potência ser superior a nominal do resistor, o resistor será utilizado por apenas alguns instantes, o que não será um problema para o componente.

$$P_{R4} = \frac{220^2V}{4.700} = 10,3 \text{ W} \quad (3)$$

4.2.3 Escolha do diodo

A escolha do diodo também foi realizada conforme a Tabela 11. Respeitando os limites da queda de tensão do diodo. Dessa forma, o diodo escolhido foi o modelo SB560 da WON-TOP ELECTRONICS e as principais características do componente escolhido são apresentadas na Tabela 17. Este diodo foi escolhido pois era uma das opções já disponíveis para a elaboração do trabalho, apesar de existirem opções de menor custo no mercado.

Tabela 17 – Informações técnicas Diodo SB560. Fonte:(SCHOTTKY..., 2012)

Característica	Valor
Tensão Reversa de Pico	60 V
Corrente Média Retificada	5,0 A
Corrente de Surto Não Repetitiva	150 A
Tensão Direta @ 5,0 A	Min. Tip. Max. 0,55 V 0,70 V 0,85 V
Faixa de Temperatura de Operação	-65 a +150 °C

4.2.4 Escolha do medidor de energia

A escolha do medidor de energia foi feita considerando os requisitos de corrente máxima e tensão do projeto. A escolha foi feita pelo Modelo PZEM-021, da fabricante HUABANG, devido ao baixo custo e tamanho compacto. Além disso o dispositivo possui um *display* que apresenta as informações medidas em tempo real. A Tabela 18 apresenta as principais informações técnicas do componente escolhido.

Tabela 18 – Informações técnicas medidor de energia. Fonte:(SINGLE... , 2024)

Característica	Valor
Faixa de tensão	AC 80 - 260 V
Corrente Máxima	20 A
Faixa de medição de energia	0-9999 kW
Faixa de medição de potência	0 - 22000 W
Faixa de medição de tempo de trabalho	0 - 9999 h
Dimensões	90 x 50 x 24,5 mm

Na Figura 22 são apresentadas imagens do medidor de energia selecionado.

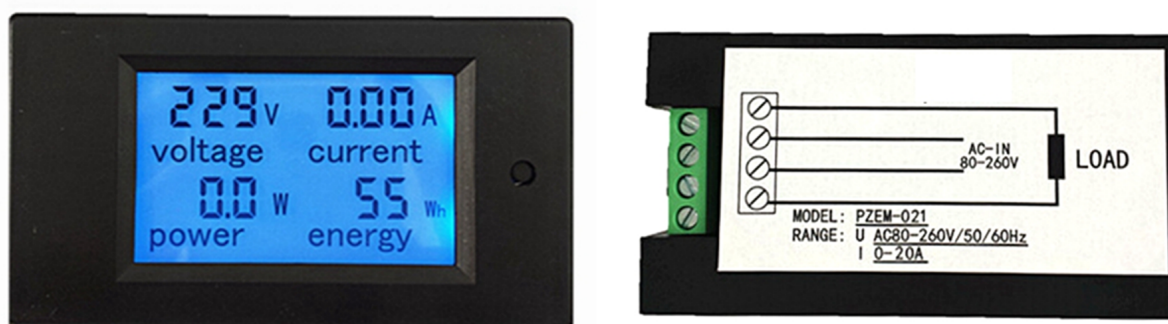


Figura 22 – medidor de energia. Adaptado de (SINGLE... , 2024)

4.2.5 Escolha da tomada

A tomada escolhida foi o modelo de embutir com TBSE-PT de 20 A da fabricante brasileira SIBRATEC.

A Tabela 19 apresenta as principais características da tomada selecionada.

Tabela 19 – Informações técnicas Tomada TBSE-PT. Fonte:

Característica	Valor
Tensão de Operação	127 V ~220 V
Corrente Máxima	20 A
Temperatura de Trabalho	-30°C ~70°C
Material	Termoplástico Autoextinguível
Tomada	Embutir 2P+T
Grau de Proteção	IP44

Na Figura 23 e apresentada uma imagem da tomada selecionada para o dispositivo.

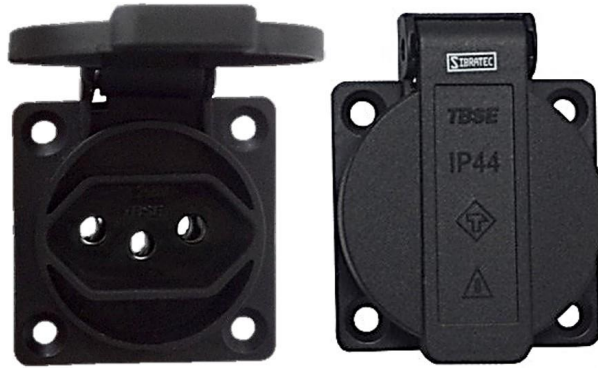


Figura 23 – Tomada selecionada. Fonte (TOMADA... , 2024)

4.2.6 Escolha do Soquete

O soquete selecionado foi do Tipo 2, de acordo com a norma IEC 62196, com capacidade de até 32 A. O critério utilizado para a escolha deste item foi o menor preço. Uma imagem do soquete escolhido é apresentada na Figura 24.



Figura 24 – Soquete Tipo 2 utilizado.

4.2.7 Escolha da Maleta

Para a abrigar a montagem do dispositivo, foi definido uma maleta anti-impacto com dimensões mínimas de 35x30x15 cm, o necessário para acomodar todos os componentes. Com o intuito de ser uma montagem robusta para uso real, buscou-se uma maleta que tivesse ao menos o grau de proteção IP64 (a prova de poeira e respingos de qualquer direção). O Modelo escolhido foi a Maleta Anti-impacto da fabricante Tactix, com classificação IP65, garantindo proteção a intempéries e a poeira ao conjunto, além de possuir as dimensões similares as escolhidas. Os critérios de seleção utilizados foram o tamanho e preço. A Figura 25 apresenta uma imagem da Maleta escolhida.



Figura 25 – Maleta escolhida. Fonte: Elaboração Própria.

4.3 MONTAGEM

Nesta seção, será descrita como foi realizada a montagem do circuito proposto, assim como a montagem final do dispositivo, em um case que permite o transporte seguro e a praticidade na operação do dispositivo durante a realização de testes. A parte do circuito proposto referente à transição entre estados foi montada em placa de fenoliteilhada. A decisão por este tipo de montagem foi tomada devido a placa permitir alterações ao longo do desenvolvimento e não depender de fabricação por terceiros. A Figura 26 apresenta a imagem da placa soldada com os componentes.

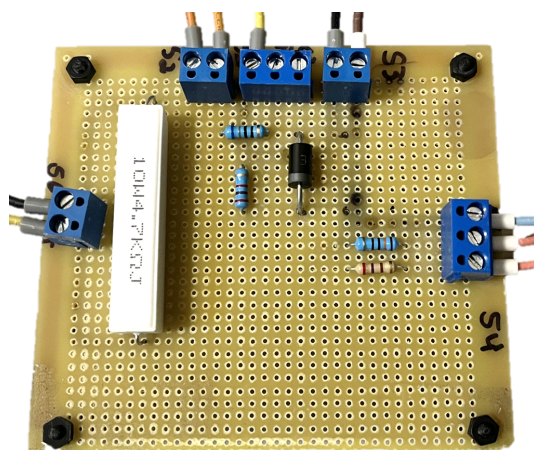


Figura 26 – Placa com os componentes soldados. Fonte: Elaboração Própria.

Já a montagem dos demais componentes, como disjuntores, chave de seleção de fase, wattímetro e tomada para carga, foi realizada diretamente por meio de cabos de 2,5 mm² e terminais pré-isolados, tubulares e conectores WAGO quando necessário. Os disjuntores foram acoplados a um trilho de fixação perfurado.

A montagem dos componentes na maleta foi realizada com a placa eletrônica e o trilho de fixação fixados à parte interna da maleta. Os demais componentes, como o medidor de energia, a tomada para carga, o soquete, as chaves e os pontos de medição, foram instalados em uma placa de PVC (policloreto de vinila), com a identificação dos componentes, conforme a disposição apresentada na Figura 27.



Figura 27 – Disposição dos componentes para interface com o operador. Fonte: Elaboração Própria.

Essa placa foi fixada na maleta de forma a garantir segurança ao operador e permitir fácil acesso para a manipulação do dispositivo. A montagem final do dispositivo na maleta de transporte é apresentada na Figura 28



Figura 28 – Resultado final da montagem do dispositivo. Fonte: Elaboração Própria.

5 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os procedimentos de testes realizados e os resultados destes testes, visando cumprir com os requisitos propostos na Tabela 13. Para a realização dos testes, o carregador modelo Wallbox foi instalado em uma ligação monofásica e as medições foram realizadas por meio de um osciloscópio.

5.1 TESTE DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS

No primeiro teste, foi realizada a etapa de conexão do VE ao carregador e a alteração entre os estados sem conexão, conectado, carregando, e carregando com ventilação requerida, estados A, B, C e D da Tabela 14. O objetivo é cumprir os requisitos 3 (alternar os estados de sinal para permitir energização), 4 (alterar o estado de sinal para requerer ventilação) e 6 (alteração de estado para não permitir energização). Este teste foi realizado conectando o plugue do carregador energizado ao soquete do dispositivo. Inicialmente, o dispositivo encontra-se com todas as chaves abertas, e o carregador está no status pronto. Conforme apresentado na Figura 29, observa-se a cor verde no carregador e o status do carregador na plataforma de controle do fabricante.



Figura 29 – Carregador disponível. Fonte: Elaboração Própria.

Foi possível realizar a medição da tensão V_a , equivalente a tensão do fio-piloto, referenciada ao PE, conforme o circuito 18, por meio do osciloscópio. O resultado obtido foi uma tensão de aproximadamente 12 V, conforme esperado, levando em consideração a Tabela 14, onde o sistema está no Estado A. O ponto V_a foi medido através do osciloscópio e o resultado é apresentado na Figura 30, onde o valor de tensão medido foi de 12,03 V.

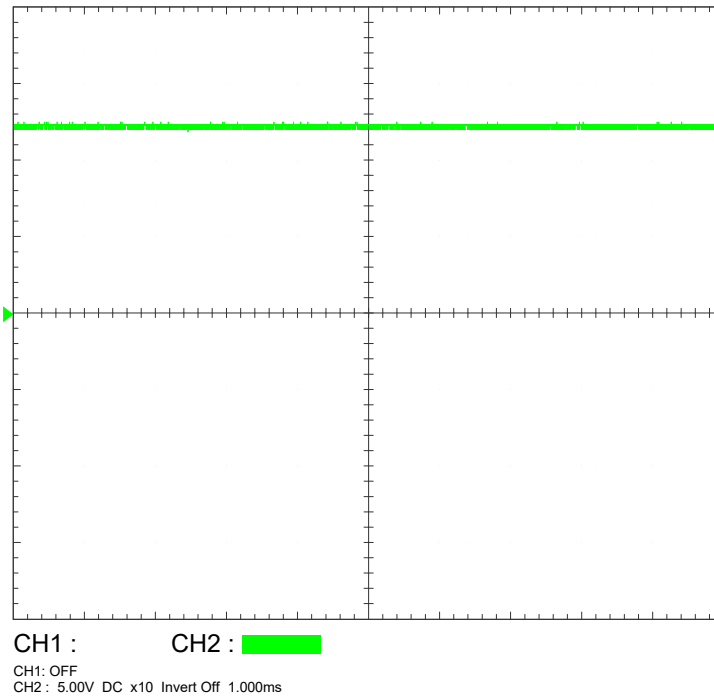


Figura 30 – Sinal CP sem conexão com o dispositivo. Fonte: Elaboração Própria.

Em seguida, as chaves S_1 e S_3 são fechadas, alterando o status do carregador para "Aguardando Veículo", conforme a Figura 31, passando para o estado B da Tabela 14. O carregador passa a exibir a cor azul clara e a apresentar o status "Aguardando Veículo" na plataforma de controle, conforme apresentado na Figura 31.



Figura 31 – Carregador em espera. Fonte: Elaboração Própria.

De forma semelhante ao estado anterior, o ponto V_a foi medido por meio do osciloscópio, e a forma de onda obtida é apresentada na Figura 32.

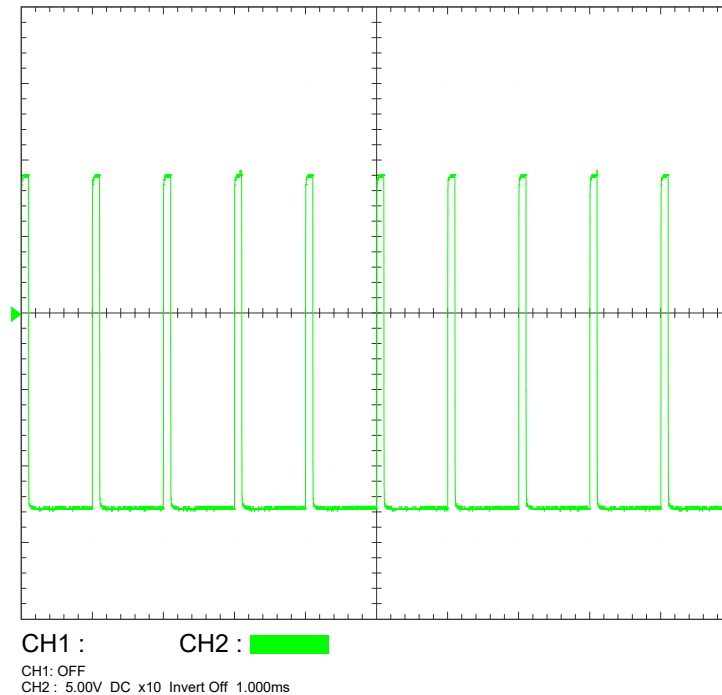


Figura 32 – Forma de onda do carregador em espera. Fonte: Elaboração Própria.

As medições das principais características da forma de onda medidas utilizando o osciloscópio são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Métricas do ponto V_a no estado B - Em espera

Característica	Valor
Máximo	9,41 V
Mínimo	-12,9 V
Frequência	1.000 kHz
Razão Cíclica	10,2%

Neste *status*, pode-se observar na forma de onda medida com o osciloscópio, que o sinal no fio-piloto tem amplitude positiva do sinal de aproximadamente 9 V, de acordo com o estado B da Tabela 14, e a razão cíclica é de aproximadamente 10%, equivalente a 6 A conforme a Tabela 9, o que está de acordo com o limite configurado no carregador, que é de 6 A.

Após a etapa de conexão e comunicação entre o dispositivo e o carregador, a chave S_4 é posicionada de forma a conectar o resistor R_3 do circuito proposto, emulando um veículo solicitando energização porém sem requerer ventilação, conforme o estado C da Tabela 14. Dessa forma, o estado do carregador se altera para carregando, energizando o plugue e alterando sua cor para azul escuro, conforme apresentado na Figura 33.



Figura 33 – Carregador no estado carregando. Fonte: Elaboração Própria.

Após a mudança, pode-se observar na Figura 34 uma redução na amplitude do sinal PWM, devido à redução da resistência equivalente do circuito do dispositivo, causada pela inserção do resistor R_3 em paralelo ao resistor R_1 .

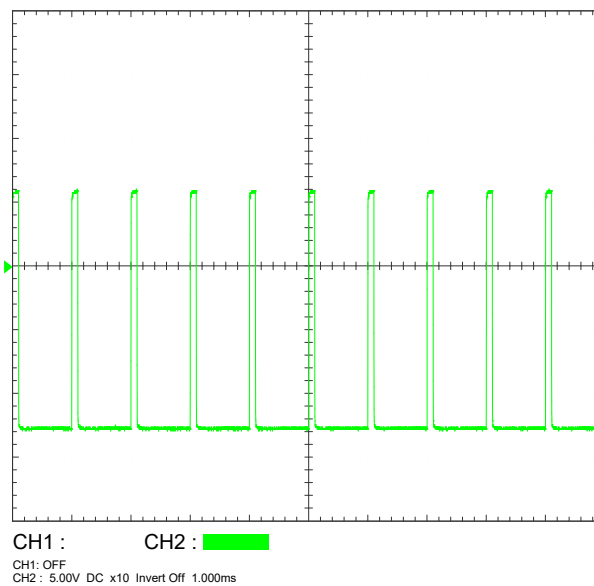


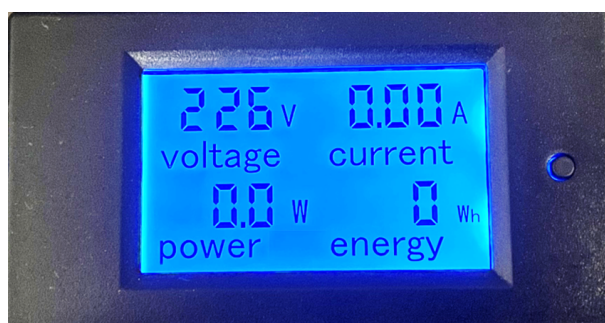
Figura 34 – Forma de onda do fio-piloto (CP) no estado C. Fonte: Elaboração Própria.

Utilizando o osciloscópio, foram medidas as principais características da forma de onda no fio-piloto. Os valores são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Métricas do ponto V_a no estado C

Característica	Valor
Máximo	6,12 V
Mínimo	-12,9 V
Frequência	1.000 kHz
Razão Cíclica	10,2%

Com o carregador neste estado, a chave S_5 foi posicionada na Fase R, o que resultou na energização da saída para a carga e também do medidor de energia, que passa a exibir no seu *display* as medições realizadas. Devido à ausência de carga conectada, apenas o valor da tensão está presente, e as demais medidas encontram-se zeradas, conforme esperado. Uma imagem do *display* do medidor de energia neste cenário é apresentada na Figura 35.

Figura 35 – *Display* do medidor de energia energizado. Fonte: Elaboração Própria.

Este resultado confirma que o Requisito 3 (alternar os estados de sinal de forma a permitir energização) da Tabela 13 foi cumprido. O próximo passo foi testar a mudança de estado para não permitir a energização. Esse teste foi realizado posicionando a chave S_4 na posição aberta, o que causou a desenergização imediata do circuito de potência (saída para carga e medidor de energia) e o retorno do carregador ao status de "aguardando o veículo". O sinal do fio-piloto retornou a valores equivalentes aos apresentados na Tabela 20 e a forma de onda foi mostrada na Figura 32.

O próximo teste realizado foi alterar o estado para requerer ventilação, correspondente ao Estado D da Tabela 14. Para isso, a chave S_4 foi movida para a posição que conecta o resistor R_2 . Com a realização dessa alteração, o carregador acusou um erro, conforme esperado, pois o carregador não consegue garantir a ventilação exigida por não possuir esse recurso configurado.



Figura 36 – Carregador em erro devido ao dispositivo requerer ventilação. Fonte: Elaboração Própria.

Para o estado de erro gerado devido ao requerimento de ventilação, houve uma alteração na forma de onda do fio-piloto, conforme mostrado na Figura 37. Pode-se observar que houve uma alteração na amplitude (queda para aproximadamente 3 V) e uma mudança para um sinal contínuo. O carregador retorna ao comportamento exibido quando não há veículo conectado, mas a resistência equivalente do circuito do dispositivo conectado ao sinal causa essa queda de tensão. Esse resultado permitiu validar o cumprimento do requisito 4 — alterar o estado de sinal de forma a requerer ventilação.

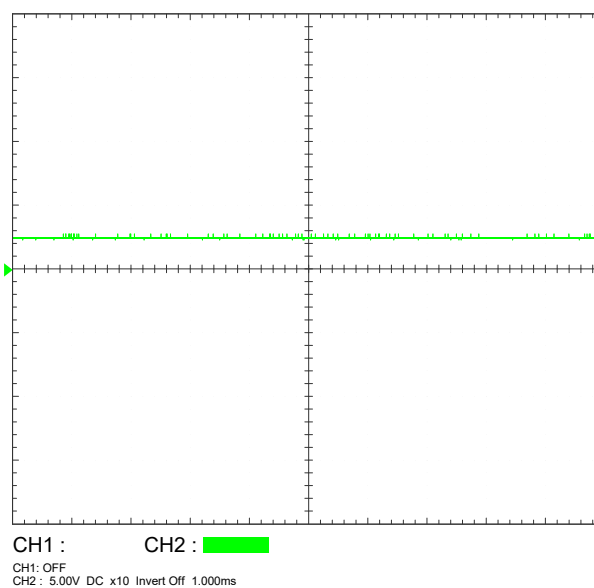


Figura 37 – Sinal fio-piloto solicitando ventilação. Fonte: Elaboração Própria.

5.2 TESTE DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

O teste de transferência visa validar o cumprimento dos Requisitos 8, 9, 10 e 11 da Tabela 13. Este teste tem como objetivos a realização da transferência de energia, o acompanhamento das principais métricas da recarga, a seleção da fase a ser testada e a medição dos pontos principais do circuito. Para a realização deste teste, será utilizada uma carga resistiva de aproximadamente 27Ω , que dissipa uma potência de cerca de 1800 W quando conectada a uma tensão alternada 220 V.

Para realizar o teste de transferência de energia, com o carregador energizado e com corrente máxima configurada para 10 A, o primeiro passo foi conectar o carregador ao soquete do dispositivo de testes desenvolvido. Em seguida, a chave S_5 foi configurada para a Fase R, e as chaves S_3 e S_1 foram fechadas. O próximo passo consistiu em posicionar a chave S_4 para o estado D, de forma a permitir a transferência de energia (sem requerer ventilação).

Após a mudança na chave, o carregador altera para o estado carregando, de maneira idêntica ao apresentado na Figura 33, e o medidor de energia passa a ser energizado, conforme mostrado na Figura 35. Em seguida, a carga foi conectada na tomada para carga (P_o do Circuito 19). A partir deste instante, foi possível observar o início da transferência de energia e verificar a presença de potência tanto na plataforma do carregador quanto no *display* do medidor de energia, além da medição da energia transferida. No geral, a diferença entre a medição da energia transferida pelo carregador e pelo medidor de energia ficou abaixo de 5%. A Figura 5.2 apresenta um comparativo entre os valores apresentados pela plataforma e pelo *display* do medidor de energia em um dos testes realizados, onde é possível observar que os valores são próximos.



Figura 38 – Teste de transferência de energia. Fonte: Elaboração Própria.

A forma de onda do sinal no fio-piloto durante a transferência de energia é apre-

sentada na Figura 39. É possível observar que a forma de onda é semelhante àquela apresentada na Figura 34, com a exceção da diferença na razão cíclica, que agora é de 17% devido à alteração na corrente máxima do carregador, que foi ajustada de 6 A para 10 A. Esta variação na razão cíclica reflete a mudança no perfil de carga durante a transferência de energia, ajustando a corrente para suportar a carga conectada.

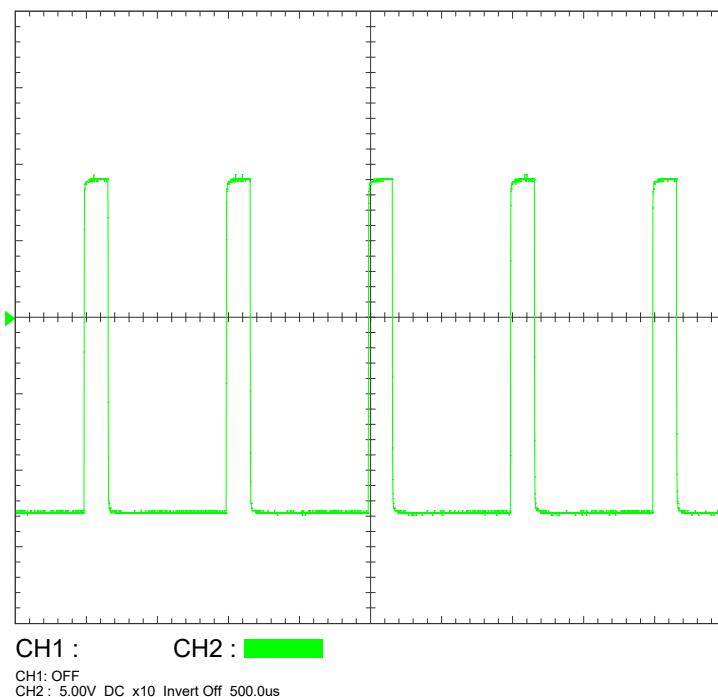


Figura 39 – Sinal fio-piloto durante transferência de energia e limite de 10 A. Fonte: Elaboração Própria.

Durante a realização deste teste, foi feita a mudança da fase realizando a mudança da chave S_5 para as 3 fases possíveis. Contudo, como o carregador utilizado para os testes foi um modelo monofásico, para que o teste fosse validado, a fase de entrada foi trocada nas 3 posições possíveis, onde o dispositivo funcionou normalmente, validando o funcionamento da Chave S_5 .

Com a realização deste teste, foi possível confirmar que os Requisitos 8, 9, 10 e 11 da Tabela 13 foram atendidos. A transferência de energia foi efetivamente realizada, e as principais métricas da recarga foram acompanhadas, confirmando a operação correta da fase selecionada e a medição precisa dos pontos principais do circuito. Os resultados obtidos mostram que a diferença entre as medições da energia transferida pelo carregador e pelo *display* do medidor de energia permaneceu abaixo de 5%, evidenciando a precisão das medições e a eficiência do sistema. A Figura 38 ilustrou um comparativo entre os valores medidos e reforça a conformidade com os requisitos estabelecidos.

5.3 TESTE DE INTERRUPTÃO DE PE

Para realizar o teste de interrupção de PE, requisito 1 da Tabela 13, o sistema é colocado no estado de transferência de energia, conforme os procedimentos descritos no Item 5.2. Com o carregador no estado de carregando, a chave S_1 é alterada para a posição em aberto. Imediatamente, o carregador detecta a falta da conexão do PE e retorna ao estado A, cessando a energização. Isso ocorre porque, ao abrir o circuito de PE, o carregador não consegue mais identificar a conexão com o veículo e, portanto, interrompe a transferência de energia para garantir a segurança do sistema.

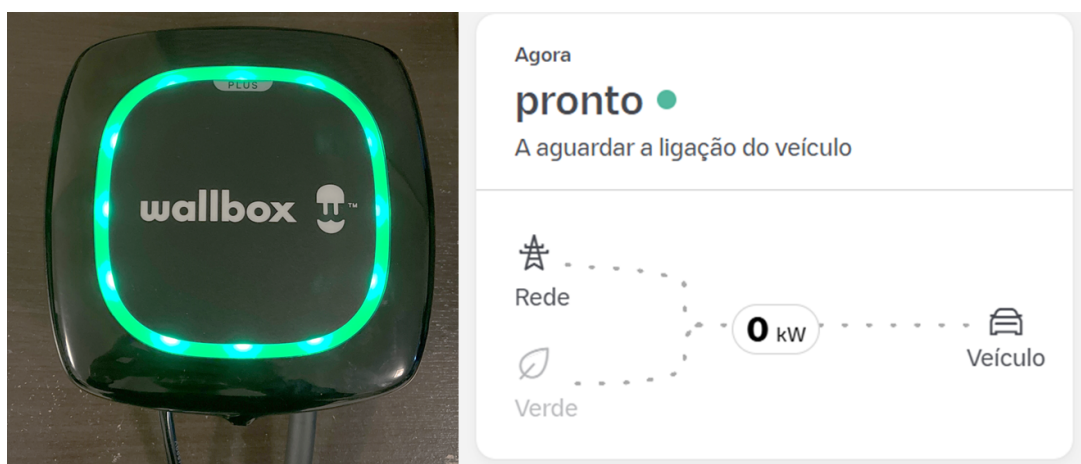


Figura 40 – Carregador após a interrupção da conexão PE. Fonte: Elaboração Própria.

Com a realização deste teste, foi possível confirmar que o Requisito 1 da Tabela 13 foi atendido. O carregador, ao ser colocado no estado de carregando e com a chave S_1 na posição aberta, identificou corretamente a falta da conexão do PE e retornou ao estado A, cessando a energização. Este resultado demonstra que o sistema está capaz de interromper a transferência de energia de maneira segura e adequada quando ocorre a interrupção do PE, conforme esperado para garantir a segurança do sistema.

5.4 TESTE DE CURTO-CIRCUITO ENTRE FIO-PILOTO E PE

Para a realização do teste de curto-circuito entre CP e PE, requisito 2 da Tabela 13, o sistema foi colocado no estado de transferência de energia, conforme os procedimentos descritos no Item 5.2. Com as chaves S_1 e S_3 fechadas e a chave S_4 configurada para conectar o Resistor R_3 , a chave S_2 foi fechada, criando um curto-circuito entre o fio-piloto e o PE. Imediatamente, o carregador detectou o curto-circuito, cessou a alimentação e exibiu uma mensagem de erro, conforme mostrado na Figura 41. Este comportamento confirma que o Requisito 2 foi atendido, demonstrando que o sistema é capaz de detectar e responder adequadamente a um curto-circuito entre CP e PE.



Figura 41 – Carregador em erro após curto-circuito entre CP e PE. Fonte: Elaboração Própria.

Com a realização deste teste, confirmou-se que o requisito 2 da Tabela 13 foi atendido. O carregador detectou corretamente o curto-circuito entre CP e PE, cessando a alimentação e exibindo um erro, como mostrado na Figura 41.

5.5 TESTE DE CORRENTE DIFERENCIAL-RESIDUAL

Para validar o requisito 7, cujo objetivo foi testar o disjuntor diferencial residual (DDR), o primeiro passo foi conectar o carregador energizado ao dispositivo montado. Em seguida, o sistema foi configurado para o estado de transferência de energia, conforme os procedimentos descritos no Item 5.2. O próximo passo consistiu em configurar a chave S_5 para a fase de interesse a ser testada, neste caso, a fase R. Nesse momento, o sistema estava apto para o teste, que foi realizado acionando a chave pulsante S_6 , permitindo que haja corrente entre a fase selecionada e o condutor PE, gerando fuga de corrente, pois essa corrente gera uma diferença entre a corrente na fase e no neutro, denominada $I_{\Delta n}$ ou corrente diferencial-residual. A Figura 42 ilustra a corrente $I_{\Delta n}$ em vermelho.

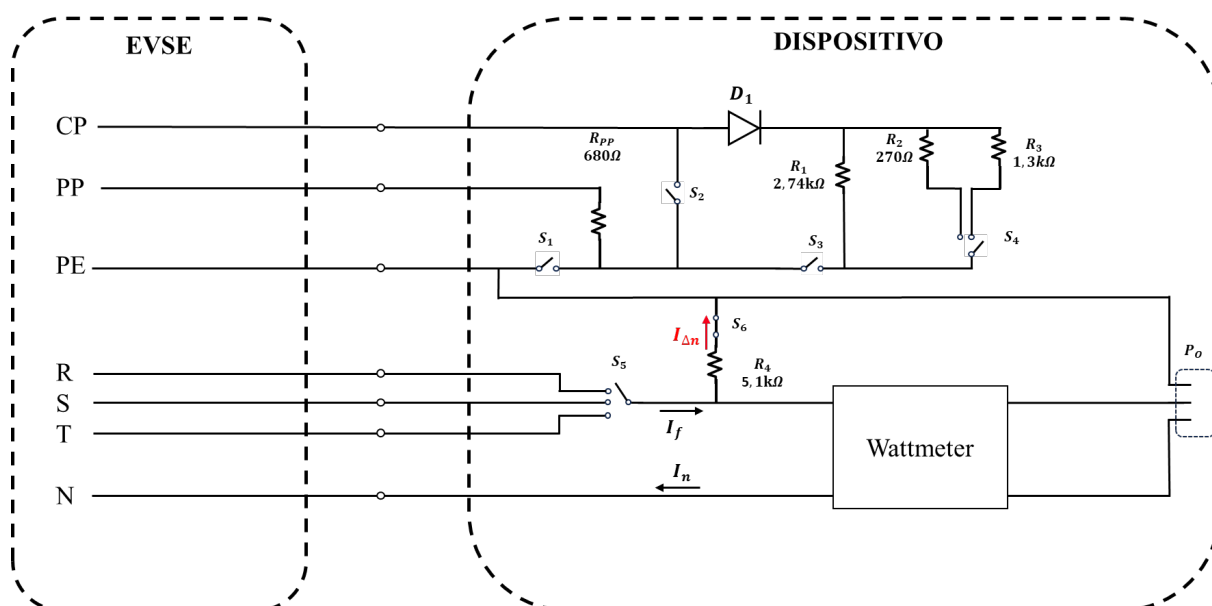


Figura 42 – Identificação da corrente diferencial-residual. Fonte: Elaboração Própria.

Imediatamente após o fechamento da chave S_6 , o disjuntor DDR do circuito elétrico da instalação onde o carregador está conectado faz a abertura do circuito, desenergizando o carregador. A Figura 43 apresenta a imagem do DDR desarmado.

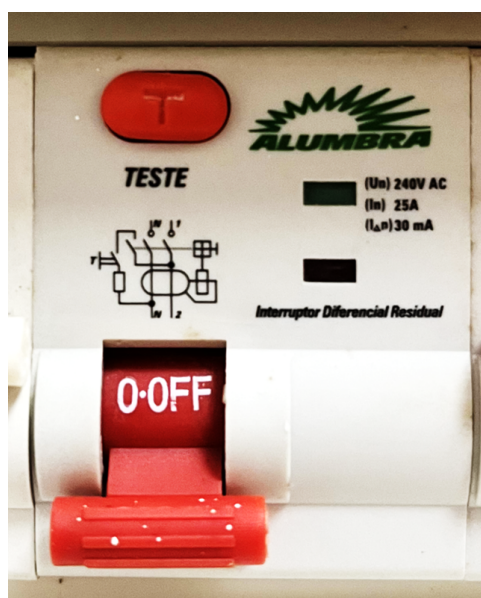


Figura 43 – DDR desarmado após a simulação de corrente diferencial-residual $I_{\Delta n}$. Fonte: Elaboração Própria.

O teste confirmou que o Requisito 7 foi atendido, pois o DDR desarmou corretamente ao ser acionada a chave pulsante S_6 , evidenciando a proteção contra fuga de corrente, como mostrado na Figura 43.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo emulador de veículo elétrico para realizar testes em estações de recarga, seguindo as normas vigentes, principalmente a NBR IEC 61851-1:2021 e a NBR 17019. Inicialmente, foram revisadas as normas aplicáveis e levantados os requisitos necessários para o projeto. Esses requisitos foram cruciais para garantir que o dispositivo estivesse em conformidade com as especificações técnicas e de segurança estabelecidas.

Com base nesses requisitos, foi desenvolvido um circuito que incorporou diversas funcionalidades, como a simulação de falhas no condutor PE, curto-circuito entre fio-piloto e PE, e a capacidade de realizar testes de transferência de energia. A escolha dos componentes, como chaves, resistores e o medidor de energia, foi feita utilizando critérios práticos.

O desenvolvimento do dispositivo incluiu a montagem de um circuito eletrônico para controle referente à transição entre estados, permitindo as transições necessárias. A montagem final em uma maleta de transporte assegurou a praticidade e a segurança na operação do dispositivo.

Os testes realizados validaram o funcionamento do dispositivo. A simulação de diferentes cenários de falhas e a verificação de parâmetros, como a razão cíclica do sinal PWM e os níveis de tensão, mostraram-se condizentes.

Em conclusão, o dispositivo desenvolvido atende de maneira satisfatória aos requisitos normativos e de projeto, demonstrando-se uma ferramenta útil e prática para testes em estações de recarga de veículos elétricos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ficam como sugestões para trabalhos futuros as seguintes melhorias e/ou alterações:

- Integração com Tecnologias de Comunicação: Investigar a integração do dispositivo com tecnologias de comunicação sem fio, como Wi-Fi ou Bluetooth, para possibilitar o monitoramento remoto e a análise de dados em tempo real;
- Automatização de Testes: Desenvolver um sistema de automação para os testes, utilizando microcontroladores para facilitar procedimentos de teste;
- Adicionar medições embarcadas: Utilizar um microcontrolador para medir o sinal PWM e a razão cíclica para não precisar de osciloscópio;
- Carga trifásica: Adicionar uma saída para carga trifásica.

REFERÊNCIAS

ABB. **Terra HP Charger – Up to 350 kW**. [S.l.: s.n.], mai. 2024. Disponível em: <https://new.abb.com/ev-charging/high-power-charging>. Acesso em: 11 mar. 2024.

ABVE. **Os oito meses que mudaram a eletromobilidade**. [S.l.: s.n.], 2023.

Disponível em:

www.abve.org.br/oito-meses-que-mudaram-o-mercado-de-eletromobilidade/.

Acesso em: 26 fev. 2024.

ACHARIGE, Sithara *et al.* Review of Electric Vehicle Charging Technologies, Standards, Architectures, and Converter Configurations. **IEEE Access**, PP, p. 1–1, jan. 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3267164.

ARAUJO, Lauro César. **A classe abntex2**: Modelo canônico de trabalhos acadêmicos brasileiros compatível com as normas ABNT NBR 14724:2011, ABNT NBR 6024:2012 e outras. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://www.abntex.net.br/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **IEC 61851**: Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. Rio de Janeiro, nov. 2021.

_____. **IEC 62196**: Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fixos para veículos elétricos. Rio de Janeiro, jan. 2021.

_____. **NBR 17019:2022**: Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos para instalações em locais especiais - Alimentação de veículos elétricos. Rio de Janeiro, jan. 2022.

BAHRAMI, Ali. EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards, jan. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.15844.53123/11.

BRASIL, KBB. **Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo**. [S.l.: s.n.], abr. 2019. Disponível em:

<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>.

CARS, Volvo. **Volvo Cars atualiza XC60 e apresenta um carro ainda mais tecnológico e moderno**. [S.l.: s.n.], jul. 2023. Disponível em: <https://www.volvocars.com.br/pt-br/veiculos/xc60>.

[//www.media.volvocars.com/lat/pt-br/media/pressreleases/316811/316811](http://www.media.volvocars.com/lat/pt-br/media/pressreleases/316811/316811).
Acesso em: 25 abr. 2024.

COORDINATION OFFICE CHARGING INTERFACE, C/O CARMEQ GMBH.
Combined Charging System. [S.l.], set. 2015. Version 1.2.1.

EFACEC. **QC45 Quick Charging Station**. [S.l.: s.n.], mai. 2024. Disponível em:
<https://electricmobility.efacec.com/ev-qc45-quick-charger/>. Acesso em: 6 jan.
2024.

EMADI, Ali. Transportation 2.0. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 9, n. 4,
p. 18–29, 2011. DOI: 10.1109/MPE.2011.941320.

EUROPEAN UNION, Council of. **Directive 2014/94/EU of the European
Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of
alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance**. [S.l.: s.n.], 2014.
<http://data.europa.eu/eli/dir/2014/94/oj>.

EVGO. **Types of Electric Vehicles**. [S.l.: s.n.], fev. 2024. Disponível em:
<https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

GIREESH KUMAR, P. *et al.* Effects of vehicular emissions on the urban environment- a
state of the art. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 6314–6320, 2021.
International Conference on Mechanical, Electronics and Computer Engineering 2020:
Materials Science. ISSN 2214-7853. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.739>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320383620>.

GWM. **HAVAL H6 GT 2025**. [S.l.: s.n.], jan. 2024. Disponível em:
<https://www.gwmmotors.com.br/novos/haval-h6-gt-2025>. Acesso em: 16 mar. 2024.

HEMAVATHI, S.; SHINISHA, A. A study on trends and developments in electric vehicle
charging technologies. **Journal of Energy Storage**, v. 52, p. 105013, 2022. ISSN
2352-152X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105013>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22010179>.

HUABANG ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD. **Single Phase Digital Panel
Meter with backlit (AC)**. [S.l.], mai. 2024.

IBGE. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023.

INDÚSTRIA LTDA., Siemens Infraestrutura e. **Dispositivos DR 5SV, 5SM e 5SU. Proteção contra correntes de fuga à terra em instalações elétricas**. [S.l.: s.n.], set. 2021. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:48701b57-34c5-4389-96f4-f86ba6a95dec/catalogo-dr.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

JOSHI, Mayank Chandra *et al.* KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM (KERS). **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 7, n. 3, mar. 2017.

KÖNIG, Adrian *et al.* An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles. **World Electric Vehicle Journal**, v. 12, n. 1, 2021. ISSN 2032-6653. DOI: 10.3390/wevj12010021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2032-6653/12/1/21>.

MASSUSE LTD. **MTS SERIES**. [S.l.], mai. 2024. Disponível em: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/MTSSeries.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MLIU92. **SVG IMAGES**. [S.l.: s.n.], mai. 2024. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Mliu92>.

PARLIAMENT, European. **Long-awaited common charger for mobile devices will be a reality in 2024**. [S.l.: s.n.], mai. 2024. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220930IPR41928/long-awaited-common-charger-for-mobile-devices-will-be-a-reality-in-2024>.

PHOENIXCONTACT. **AC charging cables for electric cars, charging stations, and home chargers**. [S.l.: s.n.], mai. 2024. Disponível em: <https://www.phoenixcontact.com/en-au/products/charging-technology-for-e-mobility/ac-charging-cables>. Acesso em: 15 mar. 2024.

POWER, J.D. **J.D. Power**. [S.l.: s.n.], mar. 2024. Disponível em: <https://www.jdpower.com/business/press-releases/2024-us-electric-vehicle-consideration-evc-study>. Acesso em: 16 fev. 2024.

RAJENDRAN, Gowthamraj *et al.* A comprehensive review on system architecture and international standards for electric vehicle charging stations. **Journal of Energy Storage**, v. 42, p. 103099, 2021. ISSN 2352-152X. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103099>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21008045>.

RODRIGUES, Marcio *et al.* Grid Connection Of Electric Vehicles For Battery Charging: A Survey. **Eletrônica de Potência**, v. 19, p. 194–207, mai. 2014. DOI:

10.18618/REP.2014.2.194207.

RUGGIERI, Roberto *et al.* Electric Mobility in a Smart City: European Overview.

Energies, v. 14, n. 2, 2021. ISSN 1996-1073. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1996-1073/14/2/315>.

SIBRATEC CCA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS LTDA.

Chave rotativa seletora LW28-20A. [S.l.], mai. 2024. LW28-20.

_____. **Tomada de embutir linha TBSE padrão brasileiro**. [S.l.], mai. 2024.

TBSE-PT.

VENGATESAN, S.; JAYAKUMAR, Arunkumar; SADASIVUNI, Kishor Kumar. FCEV vs. BEV — A short overview on identifying the key contributors to affordable & clean energy (SDG-7). **Energy Strategy Reviews**, v. 53, p. 101380, 2024. ISSN 2211-467X.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101380>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X24000877>.

WECHARGE. **E-commerce de carregadores**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em:

<https://www.wechargeshop.com.br>. Acesso em: 25 fev. 2024.

WON-TOP ELECTRONICS CO., LTD. **SCHOTTKY BARRIER DIODE**. [S.l.], set. 2012. SB560.

Anexos

ANEXO A – ANEXO A - INFORMAÇÕES TÉCNICAS CARREGADOR WALLBOX

PULSAR PLUS Ficha de dados técnicos

Especificações gerais

Modelo	Pulsar Plus
Cor	Branco ou preto
Comprimento do cabo	5 m (7 m opcional) ⁽¹⁾
Modo de carregamento (IEC 61851-1)	Modo 3
Dimensões	166x163x82 mm (sem cabo)
Peso	1 kg (sem cabo)
Temperatura de funcionamento	-25 °C a 40 °C
Temperatura de armazenamento	-40 °C a 70 °C
Normas	Marcação CE (LVD, 2014/35/EU, EMC, 2014/53/EU), IEC 61851-1, IEC 61851-2-2, IEC 62196-2, BS 767120 ⁽⁸⁾

Interface do utilizador e comunicações

Conectividade	Wi-Fi, Bluetooth
Identificação do utilizador	Aplicação e Portal myWallbox
Interface do utilizador	Aplicação e Portal myWallbox ⁽¹⁰⁾
Informações de estado do carregador	RGE LED Halo, Aplicação e Portal myWallbox
Recursos incluídos	Partilha de energia inteligente
Recursos adicionais	Power Boost, Dynamic Power Sharing

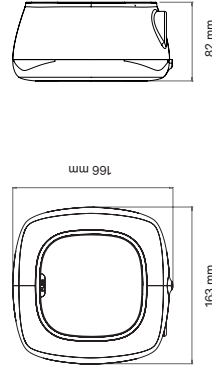
(1) Apenas para carregadores com cabos Tipo 2.
 (2) Apenas para carregadores com potência até 7,4 kW.
 (3) Apenas para carregadores vendidos no Reino Unido.
 (4) O RDC-DD interno cumpre as características de tempo de disparo de acordo com IEC 60955.
 (5) Tipo A ou Tipo B de acordo com os regulamentos locais.
 (6) Compatível com OCPP.
 (8) IEC 60335-1-2.

www.wallbox.com
 sales@wallbox.com

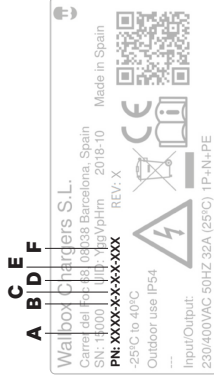
Especificações elétricas

Potência de carregamento	7,4 kW	11 kW	22 kW
Tensão nominal CA ± 10%	230 V	400 V	400 V
Corrente nominal	32 A (1P)	16 A (3P)	32 A (3P)
Tipo de conector (IEC 62196-2)	Tipo 1 / Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2
Largura do cabo	até 3x 10 mm ²	até 5x 10 mm ²	até 5x 10 mm ²
Ligação à terra ⁽⁵⁾	De acordo com os regulamentos BS 7671:2018		
Corrente configurável	de 6 A a corrente nominal		
Frequência nominal	50 Hz/60 Hz		
Classificação de proteção	IP54 / IK08		
Categoria de pico de tensão	CAT III		
Deteção de corrente residual	AC 30mA / DC 6mA ⁽⁴⁾		
RCCB	RCCB externo necessário ⁽⁶⁾		

Dimensões



Estrutura do número de peça



Código Definição

A Modelo	PLP1	Pulsar Plus
B Cabo	0	5 m
	M	7 m
C Conector	1	Tipo 1
	2	Tipo 2
D Potência	2	7,4 kW
	3	11 kW
	4	22 kW
E Característica adicional	9	Deteção de corrente residual (AC 30mA / DC 6mA)
	F	Deteção de corrente residual (AC 30mA / DC 6mA) + Ligação à terra
F Personalizado	XX1	Branco
	XX2	Preto

wallbox