

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Henrique Horquen Martins

**FRAMEWORK DE CONTROLE E GERENCIAMENTO INTELIGENTES
PARA ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS
UTILIZANDO PROTOCOLO OCPP**

Santa Maria, RS
2023

Henrique Horquen Martins

**FRAMEWORK DE CONTROLE E GERENCIAMENTO INTELIGENTES PARA
ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO PROTOCOLO
OCPP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Orientadora: Prof.^a Luciane Neves Canha

Santa Maria, RS
2023

Martins, Henrique
FRAMEWORK DE CONTROLE E GERENCIAMENTO INTELIGENTES
PARA ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO
PROTOCOLO OCPP / Henrique Martins.- 2023.
72 p.; 30 cm

Orientadora: Luciane Neves Canha
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2023

1. Gerenciamento de estações de recarga 2. OCPP 3.
Controle multiagente 4. Framework I. Neves Canha,
Luciane II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, HENRIQUE MARTINS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Henrique Horquen Martins

**FRAMEWORK DE CONTROLE E GERENCIAMENTO INTELIGENTES PARA
ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO PROTOCOLO
OCPP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Aprovado em 16 de fevereiro de 2023:

**Luciane Neves Canha, Dr. (UFSM)
(Presidenta/Orientadora)**

Wanderlei Marinho da Silva, PhD. (IMT)

Rafael Gressler Milbradt, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meu irmão, minha esposa e meu filho.

AGRADECIMENTOS

A minha família por todos os ensinamentos, amor, carinho, apoio e por sempre acreditarem em mim.

A minha esposa que sempre me incentivou a lutar pelos meus sonhos, ao meu filho que alegrou nossos dias e encheu de amor a nossa casa.

A minha orientadora Luciane por todo apoio, pela confiança no meu trabalho e pelas oportunidades de atuar em projetos inovadores.

Aos amigos que fiz no laboratório que sempre me ajudaram e contribuíram para o meu crescimento profissional.

Agradeço ao Programa de P&D da ANEEL e à COPEL, que proporcionaram o desenvolvimento desta dissertação através do Projeto Estratégico PD 2866-0519/2019- INTERFACE DE INOVAÇÃO MULTIAGENTE ENVOLVENDO A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA, OS SISTEMAS DE ENERGIA E INFRAESTRUTURAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA PARA ELETROVIAS INTELIGENTES.

Agradeço à UFSM pela estrutura e pela oportunidade de seguir com os estudos mesmo durante a pandemia.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a realização desta dissertação.

Precisamos dar um sentido humano às nossas construções. E, quando o amor ao dinheiro, ao sucesso, nos estiver deixando cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves do céu.

(Érico Veríssimo)

RESUMO

FRAMEWORK DE CONTROLE E GERENCIAMENTO INTELIGENTES PARA ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO PROTOCOLO OCPP

AUTOR: Henrique Horquen Martins

Orientadora: Luciane Neves Canha

O setor de transporte desempenha um papel importante no desenvolvimento da economia, o crescimento desse mercado, no entanto, sempre esteve lado a lado com as cadeias de produção dos combustíveis fósseis através dos veículos com motores a combustão interna. Porém, devido ao aumento da conscientização mundial sobre a poluição causada pelo consumo de combustíveis fósseis e a queda nos valores das baterias trouxeram os veículos elétricos como uma opção a ser adotada com o objetivo de diminuir a emissão destes gases poluentes. Entretanto, para eletrificar a frota de veículos, é necessário o desenvolvimento da infraestrutura básica que forneça energia a estes veículos, por este motivo, a instalação das estações de recargas são um ponto chave para a adoção desta nova tecnologia. Esta dissertação apresenta uma metodologia para gerenciamento inteligente de carregadores de veículos elétricos utilizando o protocolo OCPP 1.6j. A dissertação foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira etapa em ambiente simulado, onde foram criados os serviços e a arquitetura do servidor OCPP, nesta etapa também foram realizados testes e validações das funcionalidades que o protocolo disponibiliza. A segunda etapa é referente a integração em carregadores reais, onde o primeiro carregador foi um modelo de recarga lenta monofásico de corrente alternada. Os próximos carregadores integrados foram carregadores rápidos que constituem a primeira eletrovia que conecta o centro do estado com o litoral do Rio Grande do Sul. O Framework foi desenvolvido para suportar diferentes agentes sobre o sistema, onde cada agente pode designar limitações no uso e na potência das estações de recarga. O estudo de caso apresentou um bom gerenciamento das estações de recargas, ao todo foi implementado o sistema em 9 carregadores de modelos distintos. Com a operação diária e em tempo real, o sistema recebeu feedbacks que foram essenciais para a criação de novas funcionalidades que aumentaram o suporte aos usuários e o controle dos operados das estações de recargas.

Palavras-chave: gerenciamento inteligente, carregadores de veículos elétricos, operação em tempo real, OCPP 1.6j.

ABSTRACT

INTELLIGENT CONTROL AND MANAGEMENT FRAMEWORK FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS USING OCPP PROTOCOL

AUTHOR: Henrique Horquen Martins

ADVISOR: Luciane Neves Canha

The transport sector has an important role in the development of the economy, the growth of this market, however, has always been side by side with the productive chains of fossil fuels through vehicles with internal combustion engines. However, due to the increase in world awareness about the pollution caused by the consumption of fossil fuels and the drop in the value of batteries, electric vehicles have become an option to be adopted to reduce the emission of these polluting gases. However, in order to electrify the car fleet, it is necessary to develop the basic infrastructure that supplies energy to these vehicles, for this reason, the installation of charging stations is a key point for the adoption of this new technology. This dissertation presents a methodology for intelligent management of electric vehicle chargers using the OCPP 1.6j protocol. The dissertation was developed in two stages, the first stage in a simulated environment, where the services and architecture of the OCPP server were created, in this stage tests and validations of the functionalities that the protocol makes available were also carried out. The second step is related to the integration in real chargers, where the first charger was a single-phase model of slow charging in alternating current. The next integrated chargers were the fast chargers that constitute the first electroway in Rio Grande do Sul that connects the center of the state to the coast. The Framework was developed to support different agents in the system, where each agent can designate limitations on the use and power of the charging stations. The case study showed a good management of the charging stations, in all, the system was implemented in 9 chargers of different models. Operating daily and in real time, the system received essential feedback for the creation of new functionalities that increased user support and control of charging station operators.

Keywords: intelligent management, electric vehicle chargers, real-time operation, OCPP 1.6j.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Quantidade de veículos elétricos de 2010 até 2021.	15
FIGURA 2 – Diferença entre carregamento CA e CC para veículos elétricos.	19
FIGURA 3 – Modo 1 de carregamento.	20
FIGURA 4 – Modo 2 de carregamento.	20
FIGURA 5 – Modo 3 de carregamento.	21
FIGURA 6 – Modo 4 de carregamento.	21
FIGURA 7 – Plugues Tipo 1. (A) Tipo 1 CA e (B) CCS Tipo 1.	22
FIGURA 8 – Plug do tipo 2.	23
FIGURA 9 – Plugue CCS Tipo 2.	23
FIGURA 10 – Plugue CHAdeMO.	24
FIGURA 11 – Plugue proprietário da Tesla.	24
FIGURA 12 – Plugue padrão GB/T. (A) Modelo CA (B) Modelo CC.	25
FIGURA 13 – Comparativo entre os plugs de carregamento. (A) Tipo 1, (B) CCS Tipo 1, (C) Tipo 2, (D) CCS Tipo 2, (E) CHAdeMO, (F) GB/T (CA), (G) GB/T (CC) e (H) Tesla.	25
FIGURA 14 – Principais protocolos de comunicação.	26
FIGURA 15 – Fluxograma de uma conexão WebSocket.	27
FIGURA 16 – Diferenças do protocolo OCPP.	28
FIGURA 17 – Fluxograma da metodologia.	33
FIGURA 18 – Bancada inicial de simulação.	34
FIGURA 19 – Fluxograma do client OCPP.	34
FIGURA 20 – Terminais com os serviços OCPP simulado. (A) Representa o CPO e (B) Representa a ERVE.	35
FIGURA 21 – Arquitetura atual do sistema.	35
FIGURA 22 – Tratamento de mensagens em um serviço multithread.	36
FIGURA 23 – Terminal do serviço OCPP com múltiplos carregadores.	37
FIGURA 24 – Organização do servidor OCPP atual.	38
FIGURA 25 – Campos do Meter Value para um carregador CA trifásico.	40
FIGURA 26 – Estrutura da mensagem armazenada no MongoDB.	41
FIGURA 27 – Arquitetura atual com a adição do sistema de monitoramento.	42
FIGURA 28 – Dashboard inicial desenvolvido na plataforma Grafana.	42
FIGURA 29 – Arquitetura atual do sistema com adição da API para controle dos carregadores.	43
FIGURA 30 – Organização do Servidor OCPP.	44
FIGURA 31 – Interface do Postman para chamadas REST.	45
FIGURA 32 – Carregador TAC-W7-G5-R-0 da ABB.	52

FIGURA 33 – Arranjo inicial para testes com carregador físico.	52
FIGURA 34 – Captura da primeira comunicação OCPP com um carregador real.	53
FIGURA 35 – Comparação entre os valores instantâneos: (A) Aplicativo proprietário da ABB e (B) Mensagem do OCPP salva no MongoDB.	54
FIGURA 36 – Carregador rápido modelo Terra DC 54 HV.	55
FIGURA 37 – Relatório de recargas da plataforma da ABB.	55
FIGURA 38 – Veículo utilizado para testar a implementação com o carregador rápido da ABB.	56
FIGURA 39 – Potência trifásica de carregamento 2-95%.	56
FIGURA 40 – Tela de visualização de dados do carregador rápido da UFSM.	57
FIGURA 41 – Diferentes modelos de veículos elétricos que carregaram no Terra 54 HV.	58
FIGURA 42 – Comparativo entre as cargas: (A) Nissan Leaf com bateria de 40 kWh (B) Audi Etron com bateria de 95 kWh.	59
FIGURA 43 – Quantidade de veículos elétricos de 2010 até 2021.	59
FIGURA 44 – Carregador Terra DC 54 HV instalado no restaurante Lisaruth.	60
FIGURA 45 – Mapa do local dos carregadores rápidos.	61
FIGURA 46 – Controle absoluto de potência da recarga do Nissan Leaf.	62
FIGURA 47 – Controle recursivo de potência da recarga do Nissan Leaf.	63
FIGURA 48 – Carregadores Terra Wallbox de 24 kW instalados na Garage Gigante de Porto Alegre.	64
FIGURA 49 – CarSharing da Copel energia.	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Comparativo dos estudos das aplicações para ERVEs.....	29
TABELA 2 – Índices da Tabela 1.	29
TABELA 3 – Campos presentes na mensagem Meter Value.	39
TABELA 4 – Mensagens implementadas no Módulo OCPP.	46
TABELA 5 – Mensagens enviadas pelo carregador para o servidor.	47
TABELA 6 – Mensagens enviadas pelo servidor para o carregador.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>VE</i>	Veículo Elétrico
<i>BEV</i>	Battery Electric Vehicle
<i>PHEV</i>	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
<i>CO₂</i>	Dióxido de Carbono
<i>ERVE</i>	Estação de Recarga de Veículo Elétrico
<i>OCPP</i>	Open Charge Point Protocol
<i>API</i>	Application Programming Interface
<i>CA</i>	Corrente Alternada
<i>CC</i>	Corrente Contínua
<i>PWM</i>	Pulse Width Modulation
<i>CCS</i>	Combined Charging System
<i>V2G</i>	Vehicle-to-Grid
<i>CPO</i>	Charge Point Operator
<i>eMSP</i>	E-mobility service provider
<i>EVSE</i>	Electric Vehicle Supply Equipment
<i>DSO</i>	Distribution System Operator
<i>OCA</i>	Open Charge Alliance
<i>SOAP</i>	Simple Object Access Protocol
<i>JSON</i>	JavaScript Object Notation
<i>XML</i>	Extensible Markup Language
<i>CEESP</i>	Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência
<i>REST</i>	Representational State Transfer
<i>SoC</i>	State of Charge
<i>UFES</i>	Universidade Federal de Santa Maria
<i>COPEL</i>	Companhia Paranaense de Energia

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volt
A	Ampère
W	Watt
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
$VArh$	Volt-ampère-reactivo-hora
$kVArh$	Quilo-ampère-reactivo-hora
VA	Volt-ampère
kVA	Quilo-volt-ampère
Var	Volt-ampère reactivo
$kVar$	Quilo-volt-ampère reactivos
Km	Quilômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1.1	Estações de Recarga	19
2.1.1.1	Modos de carregamento	20
2.1.1.2	Tipos de Conectores	22
2.1.2	Protocolos de comunicação	25
2.1.3	WebSockets	26
2.1.4	Ocpp	27
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.3	DISCUSSÃO DO CAPÍTULO	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	SIMULAÇÃO DO AMBIENTE	33
3.2	DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS MULTITHREAD PARA SUPORTE DE CONEXÃO	36
3.3	MÓDULO DE ARMAZENAMENTO E CONTROLE DE DADOS	37
3.4	INTERFACE GRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DOS CARRE- GADORES	41
3.5	MÓDULO DE COMUNICAÇÃO EXTERNO	43
3.6	IMPLEMENTAÇÃO DOS COMANDOS DE GERENCIAMENTO DO CARRE- GADOR	45
3.6.1	Mensagens do Carregador para o Servidor	46
3.6.2	Mensagens do Servidor para o Carregador	48
3.7	DISCUSSÃO DO CAPÍTULO	50
4	ESTUDO DE CASO	51
4.1	INTEGRAÇÃO COM O CARREGADOR CA	51
4.2	INTEGRAÇÃO DO SERVIDOR OCPP COM OS CARREGADORES RÁPI- DOS QUE CONSTITUEM A ELETROVIA GAÚCHA	54
4.2.1	Integração com o carregador rápido da UFSM	54
4.2.2	O carregador rápido instalado no Restaurante Lisaruth	60
4.3	SMART CHARGING PARA CONTROLE DE CARGA	61

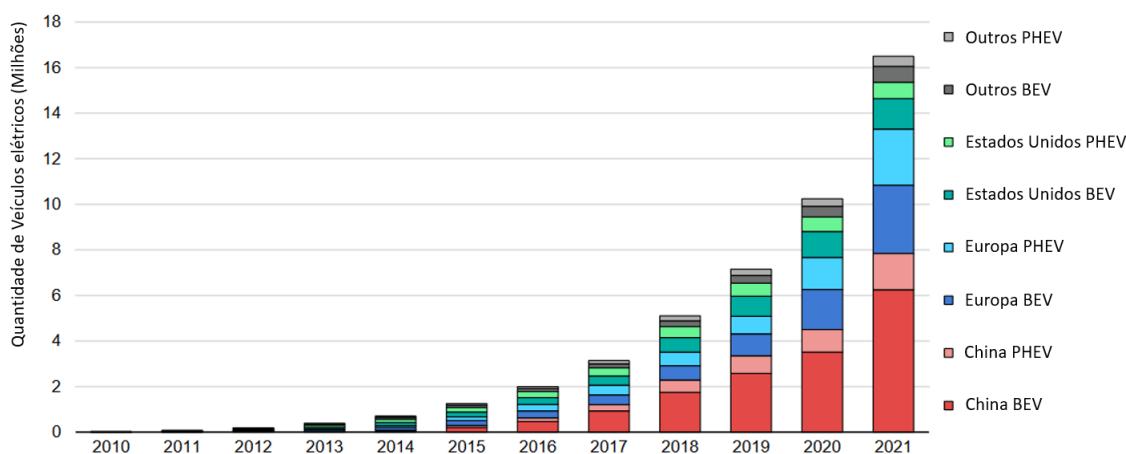
4.4	INTEGRAÇÃO COM O RESTANTE DOS CARREGADORES	63
4.4.1	Carregadores da Garage Gigante	63
4.4.2	Carregadores da Copel para CarSharing	64
4.5	DISCUSSÃO DO CAPÍTULO	65
5	CONCLUSÃO	66
5.1	TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

O setor de transporte desempenha um papel importante no sistema de energia, demanda de petróleo, segurança energética e emissões de CO₂. O volume de veículos de carga e passageiros teve um crescimento exponencial e em pouco tempo. Todo este crescimento impacta nas mudanças climáticas ocasionadas pelo efeito estufa, (ZHANG; CHEN; HUANG, 2016). Segundo (RUGGIERI et al., 2021), embora as cidades ocupem apenas 3% da superfície da Terra, elas abrigam mais da metade da população global, sendo responsáveis por 70% do consumo de energia e 75% das emissões de carbono. Visando ajudar na diminuição da emissão de gases poluentes nas estradas, a indústria automobilística está passando por um processo de transição, eletrificando a frota de veículos para serem empregados em diferentes modais.

Com a eletrificação da frota, as vendas de veículos elétricos (VEs) atingiram outro recorde em 2021, mesmo com o mercado passando por desafios da cadeia de suprimentos por consequência da Covid-19. As vendas de veículos elétricos a bateria (BEVs) e veículos elétricos híbridos plug-in (PHEVs) quase dobraram ano a ano para 6,6 milhões em 2021. Isso elevou o número total de carros elétricos nas estradas para mais de 16,5 milhões. Como em anos anteriores, os BEVs representaram a maior parte do aumento (cerca de 70%) (IEA, 2022).

Figura 1 – Quantidade de veículos elétricos de 2010 até 2021.



Fonte: Adaptado de (IEA, 2022).

Junto deste crescimento, os pontos de carregamento de VE públicos aumentaram quase 40% ao redor do mundo em 2021, (IEA, 2022). Este aumento é resultado da rede de suporte que está sendo desenvolvida para possibilitar este crescimento no número de VEs. Mesmo que esta tecnologia seja benéfica ao meio ambiente, existem pontos que devem ser avaliados na operação dos carregadores. Uma operação descoordenada dos

recarregadores pode resultar em problemas na rede de distribuição.

Logo, o objetivo de criar um modelo de carregamento de veículos elétricos aumenta desfavoravelmente com o tamanho da frota e o número de períodos de controle, especialmente quando as limitações da rede de distribuição são impostas, (ZHANG; KEKATOS; GIANNAKIS, 2016). Por este motivo, grande parte dos modelos dos carregadores presentes no mercado possuem algum protocolo de comunicação integrado. Isto possibilita a comunicação entre o carregador e o operador que pode ser gerenciado remotamente. Para grandes frotas de carregadores, a otimização pelo proprietário pode diminuir o impacto na rede em momentos não oportunos para o carregamento dos VEs.

Por este motivo este trabalho apresenta uma metodologia de controle de carregadores de diferentes modelos, desenvolvendo um framework de gerenciamento multiagente. A comunicação das estações de recargas de veículos elétricos (ERVEs) serão integradas utilizando o protocolo OCPP na versão 1.6j. Ao todo, serão administrados em tempo real nove carregadores que fazem parte do projeto e que constituem a primeira eletrovia gaúcha do centro do estado. A metodologia apresenta o passo a passo da criação do software que irá ser integrado com carregadores reais, fornecendo o suporte para os usuários que desejam deslocar-se entre o centro do estado e o litoral do Rio Grande do Sul. O Framework também prestará suporte aos carregadores que foram instalados em perímetro urbano.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Seguindo a tendência mundial, a eletrificação dos veículos comercializados no Brasil também tem se expandido. Segundo os dados da Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), o Brasil superou a marca histórica de 100 mil veículos eletrificados em circulação no país, desde o início da série histórica em 2012, (ABVE, 2022).

Mas para que este crescimento se mantenha, é preciso de incentivos fiscais e a instalação da infraestrutura de recarga que dê o suporte ao crescimento da frota elétrica, já que a necessidade dos usuários em relação aos serviços de recarga pública é relacionada ao deslocamento diário de cada condutor, quanto maior a distância, maior é a necessidade da existência de carregadores públicos.

Com base neste contexto, a principal motivação desta dissertação é o desenvolvimento de uma ferramenta de gerenciamento inteligente das estações de recarga que constituem o projeto estratégico PD 2866-0519/2019. Este trabalho também irá reunir os dados das recargas de diferentes modelos de veículos elétricos que utilizam estas estações de recarga.

Como justificativa, pode-se citar a metodologia que irá auxiliar tanto os usuários dos veículos elétricos, como também, gerenciar as estações de recargas que podem ser

controladas individualmente, possibilitando que os proprietários apliquem as regras de negócio que viabilize o funcionamento da estação, mesmo em momentos com limitações da rede elétrica. Sendo assim, esta dissertação visa otimizar o controle inteligente dos carregadores e possibilitar a gestão por diferentes operadores.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de controle e gerenciamento para carregadores de veículos elétricos, visando a aplicação em carregadores reais. A metodologia apresenta um sistema prático com elementos que facilitam a tomada de decisão dos operadores do sistema de energia elétrica e dos usuários dos veículos elétricos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os protocolos de comunicação para estações de recargas e suas particularidades.
- Emular um recarregador que utiliza a comunicação via OCPP e analisar o comportamento da conexão.
- Realizar a conexão com carregadores reais e configurá-los utilizando o protocolo OCPP.
- Testar os recursos que o OCPP 1.6J disponibiliza para o usuário.
- Implementar o controle adaptativo de potência dos carregadores via OCPP.
- Desenvolver o sistema de visualização dos dados dos carregadores, de maneira que facilite a interação do operador sobre o sistema.
- Desenvolver uma API para a integração de outros agentes no *framework* de gerenciamento dos carregadores instalados pelo projeto.
- Aplicar diferentes cenários nos carregadores com o objetivo de validar estudos de casos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação é dividida da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta uma introdução para contextualização do tema proposto.
- O Capítulo 2 apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica de trabalhos recentes que abordam esta temática. Também apresenta os referenciais teóricos associados às etapas e métodos que serão abordados no restante do trabalho.
- O Capítulo 3 estrutura o passo a passo da metodologia, onde cada etapa irá apresentar as técnicas utilizadas na construção do produto final.
- O Capítulo 4 apresenta os estudos de caso, onde são implementados os controles nos carregadores reais.
- O Capítulo 5 apresenta a conclusão desta dissertação e as sugestões para os trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

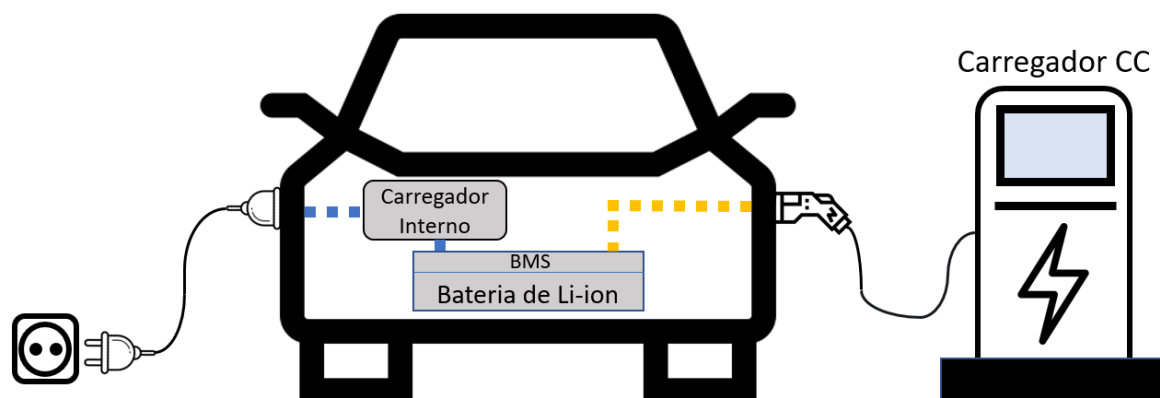
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção irá abordar o referencial teórico das aplicações que serão desenvolvidas ao longo deste trabalho. Para melhor entendimento, será dada uma breve explicação sobre as tecnologias que compõem a solução.

2.1.1 Estações de Recarga

As estações de recarga de veículos elétricos (ERVE) são os dispositivos que fornecem energia elétrica utilizada para efetuar as recargas dos VEs. Estes dispositivos são separados em carregadores de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC). Os carregadores CA normalmente são atrelados nas recargas lentas, o motivo desta característica está na necessidade do VE possuir um estágio de conversão da energia CA para CC no momento da recarga da bateria do veículo elétrico, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Diferença entre carregamento CA e CC para veículos elétricos.



Fonte: Baseado em (RODRIGUES et al., 2014).

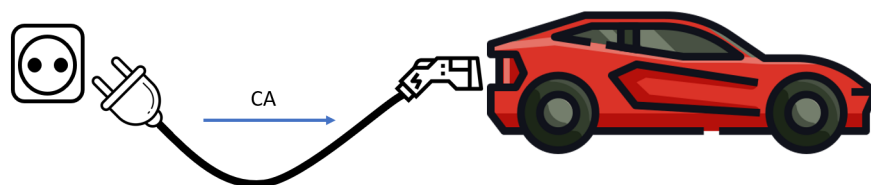
Com o crescimento da procura dos VEs, as ERVEs tornaram-se ponto chave para suportar a eletrificação da frota, que diferente do método de abastecimento dos veículos a combustão interna, os VEs possuem uma gama de possibilidades e diferenças na maneira que é realizada a recarga. Esta seção irá apontar algumas particularidades das ERVEs.

2.1.1.1 Modos de carregamento

Assim como os VEs, os carregadores possuem vários modelos e marcas diferentes, para padronizar estes carregadores, existem normas que devem ser seguidas. A IEC 61851-1, é uma série de normas internacionais que estabelecem quatro modos diferentes para as recargas dos VEs. Estes modos serão descritos a seguir:

- **Modo 1:** O modo 1 é conhecido como carregamento residencial, a conexão do veículo elétrico é via soquete padrão. Esta recarga utiliza uma tomada residencial convencional, não superiores a 16 A e não superior a 250 V CA monofásico ou 480 V CA trifásico, (FALVO et al., 2014). Este modo não comporta nenhum controle suplementar ou contatos auxiliares, um exemplo pode ser visto na Figura 3.

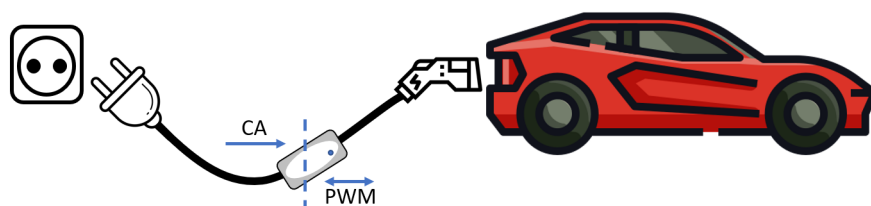
Figura 3 – Modo 1 de carregamento.



Fonte: O Autor.

- **Modo 2:** O modo 2 também pode ser visto como um carregamento residencial, sua diferença em relação ao primeiro modo é que o cabo possui um dispositivo de controle e proteção. Este dispositivo possui um controle PWM (do inglês: *Pulse Width Modulation*) que é utilizado para comunicar o carregador com o VE. Com o PWM é possível que o VE adéque a carga recebida e transmita o estado da recarga, garantindo uma maior segurança no momento da recarga. Com este modo é possível alcançar 32 A e 250 V CA monofásico ou 480 V CA trifásico. A Figura 4 demonstra este modo de carregamento.

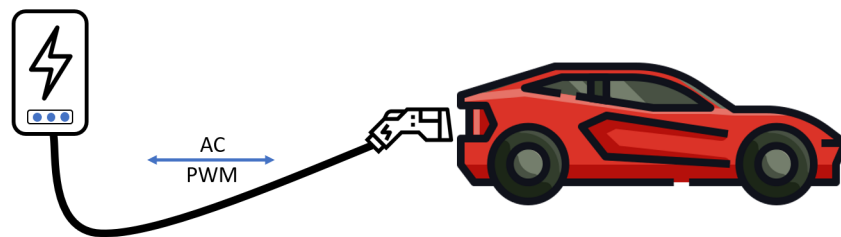
Figura 4 – Modo 2 de carregamento.



Fonte: O Autor.

- **Modo 3:** A partir do modo 3, as ERVEs tornam-se dispositivos que podem ser empregados em uso público, Figura 5. O cabo de alimentação é conectado diretamente na ERVE e no VE, isso permite que o PWM controle e torne segura a recarga. Dependendo da ERVE, é concedido ao usuário o controle da corrente de carregamento do VE. Os modelos mais comuns deste modo são os carregadores Wallbox, que são instalados nas paredes das residências ou em locais públicos. Este modo de recarga alcança 32 A e 250 V utilizando uma rede monofásica, já para as redes trifásicas os valores podem alcançar 63 A e 480 V, (LONGO et al., 2016).

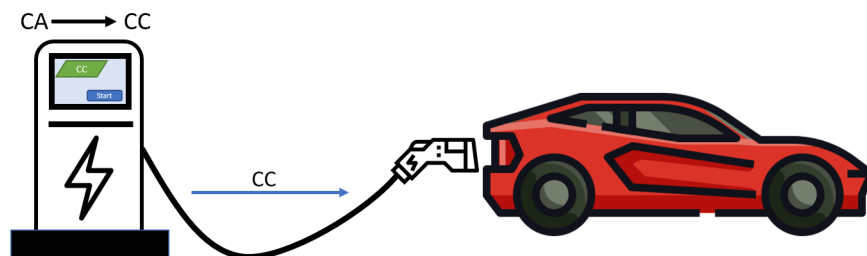
Figura 5 – Modo 3 de carregamento.



Fonte: O Autor.

- **Modo 4:** O modo 4 é o modo de carregamento em corrente contínua, diferente dos outros métodos que utilizavam apenas carga CA. Este modo também é conhecido como carga rápida, ao utilizar um carregador *off-board*, a energia é transferida diretamente da ERVE para a bateria do VE, Figura 6. A vantagem deste modo de carregamento é a velocidade da carga, entretanto, a infraestrutura necessária para suprir um carregador rápido é maior, tornando-o caro se comparado com os outros modos. A potência de carga deste modo pode alcançar valores superiores a 150 kW, (FALVO et al., 2014).

Figura 6 – Modo 4 de carregamento.



Fonte: O Autor.

2.1.1.2 Tipos de Conectores

Com o desenvolvimento global dos veículos elétricos, diferentes padrões de conectores que são usados para efetuar a recarga dos VEs foram criados. Esta diversidade de modelos pode tornar o momento da recarga oneroso, pois não basta apenas existir uma ERVE disponível, ela também deve conter um plugue compatível com o modelo do VE. Os principais plugues serão descritos a seguir.

- **Tipo 1:** O tipo 1 ou SAE J1772, é um padrão utilizado nos Estados Unidos. Este plugue é utilizado para recargas CA monofásicas, onde os níveis de tensão e corrente podem abranger diferentes valores, com limites superiores de 32 A e 230 V, (STD, 2017). Este padrão tem 5 pinos, um pino para controle, dois pinos condutores de energia (um fase e um neutro), um pino para aterramento e um pino para detecção de proximidade, Figura 7. Este padrão também suporta um modo adicional, para este modo é adicionado dois pinos auxiliares que ficam acoplados abaixo do plugue SAE J1772, isso habilita o modo CC de carregamento rápido.

Figura 7 – Plugues Tipo 1. (A) Tipo 1 CA e (B) CCS Tipo 1.



Fonte: (Shanghai Mida, 2022).

- **Tipo 2:** O tipo 2 ou Mennekes, é um padrão de plugue Europeu. Este modelo de conector suporta recargas CA monofásica e trifásica. Por aceitar um carregamento trifásico, este padrão consegue atingir uma potência de carregamento de 43 kW, sendo 63 A e 400 V. O tipo 2 utiliza o mesmo protocolo de comunicação do tipo 1, portanto, pode-se utilizar adaptadores entre estes modelos. Este conector tem 7 pinos, um pino de controle, um pino de aterramento, um pino de detecção de proximidade e quatro pinos condutores de energia (um neutro e um para cada fase), Figura 8.

Figura 8 – Plug do tipo 2.



Fonte: (EV Charge +, 2022).

O tipo 2 também suporta um modo adicional, conhecido como CCS2 (do Inglês: *Combined Charging System*), é acoplado a dois pinos na parte inferior do plugue, semelhante ao tipo 1. A Figura 9 exhibe este arranjo.

Figura 9 – Plugue CCS Tipo 2.



Fonte: (EV Charge +, 2022).

- **CHAdEMO:** O padrão CHAdEMO é um plugue desenvolvido pela TEPCO (Tokyo Electric Power Company). A TEPCO foi fundada a partir da associação entre a Toyota Motors, a Nissan Motors, a Mitsubishi Motors, a Fuji Heavy Industries e a TEPCO. Essa associação lançou os primeiros veículos da Nissan e da Mitsubishi equipados com o padrão CHAdEMO no mercado, (CHAdEMO, 2022). Este padrão foi desenvolvido para suportar carregamento rápido em CC, diferente dos modelos anteriores, o CHAdEMO não precisa de módulo auxiliar acoplado no plugue para efetuar este tipo de recarga. O CHAdEMO suporta recargas de até 400 kW, para isto, o conector possui 10 pinos, sendo o padrão com o maior número de pinos, como apresenta a Figura 10.

Figura 10 – Plugue CHAdeMO.



Fonte: (CHAdeMO, 2022)

Uma particularidade do padrão CHAdeMO, é a capacidade de transferir energia bi-direcionalmente. Esta tecnologia habilita o modo de carregamento V2G (do inglês: *Vehicle-to-Grid*). O V2G envolve a extração da energia do veículo para a rede de energia elétrica, esta característica pode ajudar rede inteligentes no fornecimento de energia durante períodos oportunos, como horários de pico, aumentando a confiabilidade, eficiência e estabilidade da rede de abastecimento, (QUÍLEZ et al., 2018).

- **Conector da Tesla:** O padrão da Tesla é o mais utilizado na América do Norte, oferecendo carregamento CA e carregamento CC de até 1 MW (Tesla, 2022). Este conector tem cinco pinos: dois pinos maiores para alimentação, dois para o piloto de controle e um é o aterramento (LONGO et al., 2016). A Figura 11 apresenta um exemplo deste conector.

Figura 11 – Plugue proprietário da Tesla.



Fonte: (EV Charge +, 2022).

- **GB/T:** O padrão GB/T é o padrão chinês para carregamento dos VEs. Este padrão utiliza a comunicação CAN bus com uma conexão ponto a ponto entre o carregador e o sistema de gerenciamento de bateria (BMS). Este padrão possui dois modelos de conectores sendo um CA e um CC, porém diferente do tipo 1 e do tipo 2 que os pinos CC são acoplados no conector CA, neste padrão, o conector CC é outro modelo de conector, a Figura 12 apresenta ambos os modelos.

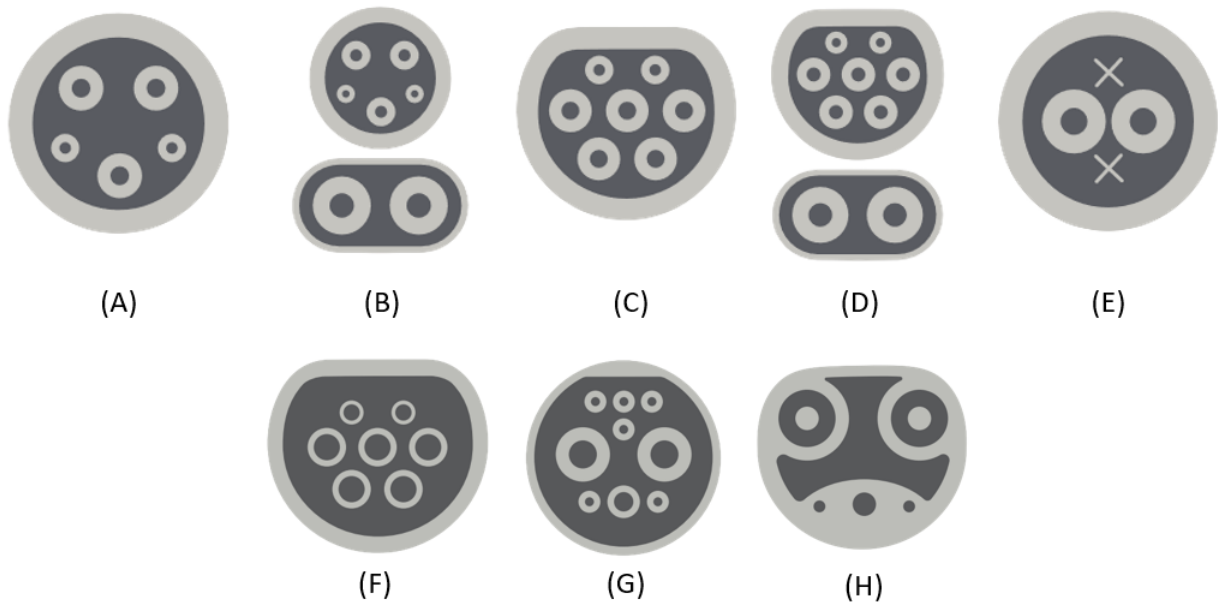
Figura 12 – Plugue padrão GB/T. (A) Modelo CA (B) Modelo CC.



Fonte: (ECO Electric, 2022).

Um resumo comparativo entre os conectores descritos anteriormente pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13 – Comparativo entre os plugs de carregamento. (A) Tipo 1, (B) CCS Tipo 1, (C) Tipo 2, (D) CCS Tipo 2, (E) CHAdeMO, (F) GB/T (CA), (G) GB/T (CC) e (H) Tesla.



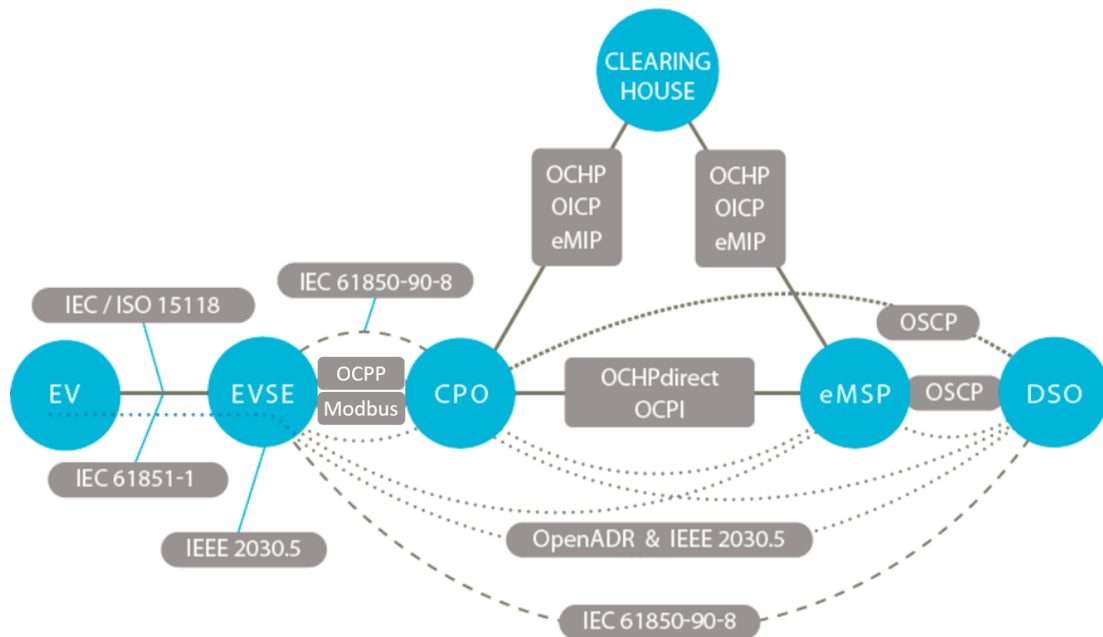
Fonte: Adaptado de (PNME, 2021)

2.1.2 Protocolos de comunicação

Uma lista de protocolos e entidades foram criadas para suportar o ecossistema da indústria dos veículos elétricos. A complexidade de todas as interações (protocolos de

comunicação) entre as entidades (círculos azuis) podem ser visualizadas na Figura 14.

Figura 14 – Principais protocolos de comunicação.



Fonte: Adaptado de (ELAAD, 2016)

Descrevendo a Figura acima, temos as seguintes entidades: EV como o veículo elétrico, que é conectado a uma estação de recarga, neste caso representada como EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*). Esta conexão pode ser vista como os cabos de energia descritos na seção 2.1.1.1. O CPO (*Charge Point Operator*), é o operador da estação de recarga, esta entidade possui controle total ou parcial da estação de recarga. A *Clearing House*, é uma instituição ou sistema que facilita a compensação da tarifa entre os operadores das EVSE. O eMSP (*E-mobility service provider*), é o agente que disponibiliza os serviços de mobilidade, por último, o DSO (*Distribution System Operator*) é o operador de sistema de distribuição, (ELAAD, 2016).

Todo esse arranjo da Figura 14 pode ser arquitetado de diferentes maneiras, dependendo dos padrões escolhidos para cada solução. Entretanto, para este trabalho, o foco será a conexão entre o CPO e a EVSE, para isto, a conexão entre estes dois agentes será realizada via OCPP (*Open Charge Point Protocol*).

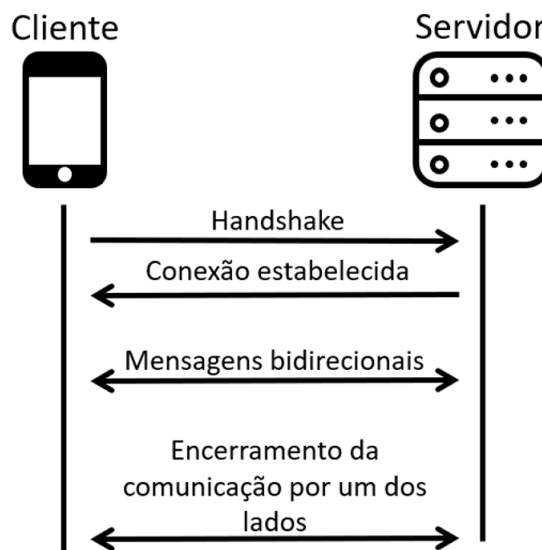
2.1.3 WebSockets

O padrão WebSocket permite a comunicação bidirecional entre o cliente e o servidor. Desenvolvido para diminuir os problemas relacionados a comunicação entre cliente e servidor, que antes do WebSocket era necessário um grande fluxo de chamadas HTTP

para manter uma comunicação ativa. Para isto, o WebSocket mantém uma única conexão TCP/IP que possibilita a comunicação nos dois sentidos, (FETTE; MELNIKOV, 2011). De maneira simplificada, o WebSocket pode ser visto como um protocolo de troca de mensagens, onde ambos os lados ficam conectados para a troca das mensagens.

O protocolo WebSocket possui duas partes, são elas: o *handshake* e a transferência de dados por mensagens, um exemplo desta comunicação pode ser visto no Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma de uma conexão Websocket.



Fonte: O Autor.

2.1.4 OCPP

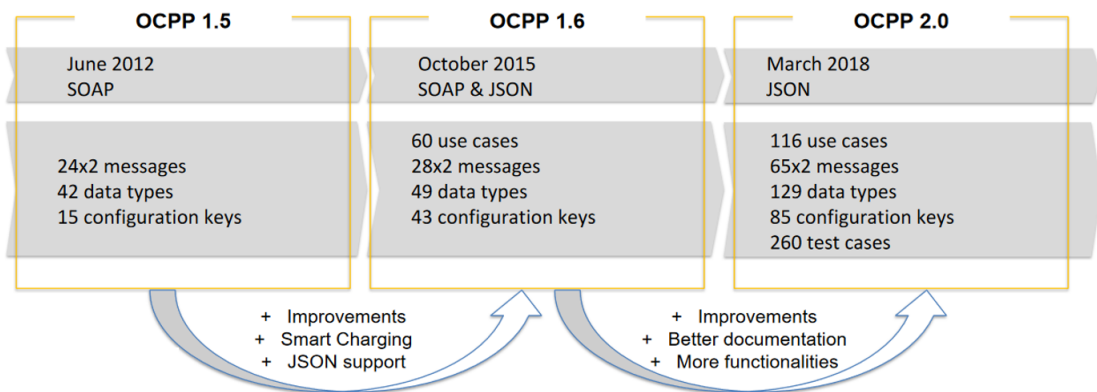
Visando facilitar a etapa de integração dos carregadores com um sistema de controle, a Open Charge Alliance (OCA) foi formada, com a missão de promover o desenvolvimento global, adoção e conformidade de protocolos de comunicação na infraestrutura de carregamento de veículos elétricos. A OCA atualmente conta com mais de 220 membros, abrangendo todos os setores da indústria, incluindo fabricantes de equipamentos de carregamento, fornecedores de software e sistemas, operadores de rede de carregamento e organizações de pesquisa, (OCA, 2022).

Com o compromisso fundamental em processos e produtos abertos, a OCA desenvolve aplicações sem restrições no uso do padrão, orientado ao mercado para atender aos requisitos tecnológicos e de negócios existentes e emergentes. Um padrão desenvolvido pela OCA é o OCPP.

O OCPP (*Open Charge Point Protocol*) é um protocolo aberto e gratuito de comunicação entre as estações de recargas e o sistema de gerenciamento. Disponível em três

versões diferentes, a primeira versão foi lançada em 2012 como OCPP 1.5, esta versão utiliza apenas o formato de mensagens SOAP (*Simple Object Access Protocol*). O OCPP 1.6 foi lançado no segundo semestre de 2015, esta versão possui o formato JSON (*JavaScript Object Notation*) além do formato SOAP, já a última versão do protocolo, o OCPP 2.0 foi lançado em 2018 e atualizado para a versão 2.0.1 em março de 2020. A Figura 16 apresenta um esquemático da evolução do OCPP.

Figura 16 – Diferenças do protocolo OCPP.



Fonte: (OCA, 2022)

O OCPP é um padrão que funciona sobre a camada de comunicação que utiliza WebSocket, por este motivo, a forma que a comunicação é estabelecida baseia-se na Figura 15. Na etapa da comunicação bidirecional, o OCPP, possui dois padrões de mensagens que são: o JSON e o SOAP. Estes padrões dependem da versão do OCPP como apresenta a Figura 16.

O padrão SOAP, presente na versão 1.5 e 1.6 do OCPP, fornece uma comunicação simples e leve para a troca de dados, com estruturas e informações tipadas, baseado em XML. Uma mensagem SOAP é formada por 3 elementos: um envelope que classifica o XML como SOAP, um *header* que podem possuir informações de segurança, pagamento, gestão, etc e um *body* que é o elemento que possui os dados que o servidor está aguardando, (BOX et al., 2000).

A versão 1.6 e a versão 2.0 do OCPP utiliza o padrão JSON para a troca de dados, essa estrutura é amplamente usada na computação pois possibilita o envio de diferentes classes de dados de forma organizada e simples, projetado para uma fácil aplicação em navegadores e ambientes de desenvolvimento web modernos, (JONES, 2011).

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o crescimento no uso das estações de recargas para suprir este crescimento dos VEs, o setor elétrico está desenvolvendo novas aplicações centralizadas ou descentralizadas utilizando a recarga destes ativos. Existem diversos estudos que buscam novas soluções para as aplicações das ERVEs, principalmente com o uso das recargas inteligentes que podem ser integradas com outros recursos energéticos de forma que a recarga possa contribuir com o sistema de distribuição.

Ao analisar estes artigos, geralmente, os assuntos abordados são na área de cibersegurança e do gerenciamento inteligente com o uso do protocolo OCPP. Na abordagem de cibersegurança, os autores apontam os cuidados e as falhas que podem tornar os carregadores alvos de ataques.

Já na área de gerenciamento inteligente, os estudos exploram o caráter econômico e a gestão inteligente dos carregadores que podem ser conectados em sistemas que possuem mais recursos energéticos distribuídos. Para este trabalho o foco será no gerenciamento das ERVEs, logo serão abordados trabalhos relacionados a esta premissa a seguir. A Tabela 1 apresenta uma lista dos trabalhos com a temática de gerenciamento.

Tabela 1 – Comparativo dos estudos das aplicações para ERVEs.

Autor	A	B	C	D	E	F	G
(HSAINI; GHOGHO; CHARAF, 2022)	X	X	X	X	X	X	
(ORCIONI et al., 2018)	X	X	X			X	
(RAVINDRAN et al., 2020)	X	X	X	X	X		
(GRASEL et al., 2022)	X	X	X	X		X	
(FERNANDEZ et al., 2020)	X		X			X	
(MENON; NITHIN, 2021)	X	X	X				
(DEVENDRA et al., 2021)	X	X	X	X	X		

Fonte: O Autor.

Tabela 2 – Índices da Tabela 1.

LEGENDA	
A	Gerenciamento de ERVEs
B	Utilização do OCPP
C	Ambiente simulado
D	Operação em carregador real
E	Controle de múltiplos carregadores
F	Carregamento inteligente
G	Controle multiagente

Fonte: O Autor.

Os autores (HSAINI; GHOGHO; CHARAF, 2022) propõem um sistema inteligente para o gerenciamento das operações das ERVEs utilizando painéis fotovoltaicos (PF). O

sistema tem como objetivo otimizar as reservas das recargas pelos usuários dos VEs. Primeiramente, o servidor irá determinar a geração de energia dos PFs e o uso do carregador durante o dia, na parte do usuário realizar o agendamento, ele pode passar os parâmetros para a recarga, como momento que irá chegar na ERVE, potência de carregamento e o momento que irá partir, após esta etapa, o servidor irá determinar recarga inteligente com base na tarifa estipulado da recarga. Este estudo utilizou um sistema de simulação para validar o método inicial, logo após o sistema foi implementado na ERVE instalada na universidade de Rabat, Marrocos.

Em (ORCIONI et al., 2018) é desenvolvido um sistema de agendamento para as ERVEs. A ênfase deste artigo é o aplicativo de agendamento disponibilizado para os usuários dos VEs. O algoritmo de gerenciamento das recargas utiliza os padrões estipulados pelo usuário, como o tempo da recarga, prioridade e a tarifa desejada para encontrar a melhor janela para a recarga. Os resultados obtidos por este trabalho foram todos simulados.

O trabalho de (RAVINDRAN et al., 2020) propõe a criação de um modelo de carregador CA considerando os padrões indianos e a condição econômica. O trabalho então abrange o *hardware* e *software* embarcado para o desenvolvimento do carregador. Por se tratar de uma arquitetura proprietária, os autores tiveram a liberdade de escolher a versão do OCPP que utilizariam no produto final, desta forma utilizaram a versão 2.0.1. Também foi elaborado um *dashboard* para o lado do servidor para acompanhamento das recargas em tempo real.

Em (GRASEL et al., 2022) foi explorada a possibilidade de utilizar o protocolo juntamente de um carregador V2G para automação residencial. O artigo conta com a integração de diferentes recursos como PFs, medidores de energia elétrica, aquecedor e a rede de distribuição. O objetivo é o desenvolvimento de uma central que coordene de acordo com a tarifa atual e a geração de energia pelos PFs, momentos oportunos para carregar ou extrair a energia do VE e injetar na residência. Este trabalho extrai o potencial do V2G que utiliza o carro como um banco de baterias, desta forma em momentos que a energia está mais cara o veículo irá injetar energia e nos momentos de baixa demanda quando a energia está mais barata o veículo será carregado.

Os autores (FERNANDEZ et al., 2020) elaboraram um modelo de agendamento dinâmico para recargas de VEs em um estacionamento utilizando enxame de partículas e *shuffled frog leaping*. O trabalho tem como objetivo otimizar as recargas via simulação utilizando como base um estacionamento de um shopping. Mesmo sem mencionar o protocolo de comunicação que será utilizado na comunicação com a ERVE, o trabalho exemplifica os problemas que podem acontecer em horários de grande procura por recargas.

O trabalho de (MENON; NITHIN, 2021) desenvolveu um simulador de comunicação de veículos elétricos baseado no conector GB/T. O simulador é separado entre cliente e servidor, para o cliente foi utilizado o MATLAB para emular a comunicação do conector, para a comunicação entre a ERVE simulada e o servidor foi utilizado o OCPP. A vantagem

deste trabalho é conseguir emular os sinais que seriam enviados do VE para o carregador.

Finalmente em (DEVENDRA et al., 2021) foi projetado uma estação de recarga para E-Scooters. Este trabalho é semelhante ao realizado por (RAVINDRAN et al., 2020), entretanto, o *hardware* utilizado não possuía limitações orçamentárias.

Analisando os trabalhos anteriores, percebe-se o foco em simulações e nos algoritmos de agendamento de recargas. Esta dissertação difere de (HSAINI; GHOGHO; CHARAF, 2022) no controle multiagente que tem como objetivo possibilitar que diferentes operadores possam administrar as ERVEs por critério de prioridade.

Os trabalhos dos autores (FERNANDEZ et al., 2020; ORCIONI et al., 2018; GRASEL et al., 2022) podem ser integrados com o resultado final desta dissertação, agregando os *softwares* de análise para o gerenciamento coletivo ou individual dos carregadores presentes neste trabalho.

2.3 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou tanto uma revisão dos métodos e das tecnologias que englobam o assunto, bem como uma revisão de alguns dos principais estudos relacionados à temática desta dissertação, com foco na comunicação OCPP para gerenciamento das ERVEs.

No referencial teórico foram abordados as temáticas que serão exploradas no restante do trabalho, já a revisão de bibliografia aborda os temas que podem colaborar com trabalhos futuros, aplicando outros modelos de gerenciamento para o *framework*.

3 METODOLOGIA

O modelo proposto nesta dissertação é aplicado em dois grupos:

- **Aplicação da comunicação via OCPP:** É realizado o estudo do protocolo, a forma da comunicação e as limitações de sua utilização;
- **Arquitetura que irá compor o *Framework*:** Conjunto de aplicações que são necessárias para o suporte das funcionalidades visadas no *framework*;

Esta dissertação visa o controle e gerenciamento dos eletropostos em tempo real. Desta forma, este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia proposta para o desenvolvimento prático do *framework*.

Inicialmente, foi realizado um estudo dos protocolos que os carregadores possuem para comunicar-se com o sistema de gerenciamento. O resultado é que grande parte dos carregadores comercializados atualmente utilizam o OCPP 1.6 como principal maneira de comunicação.

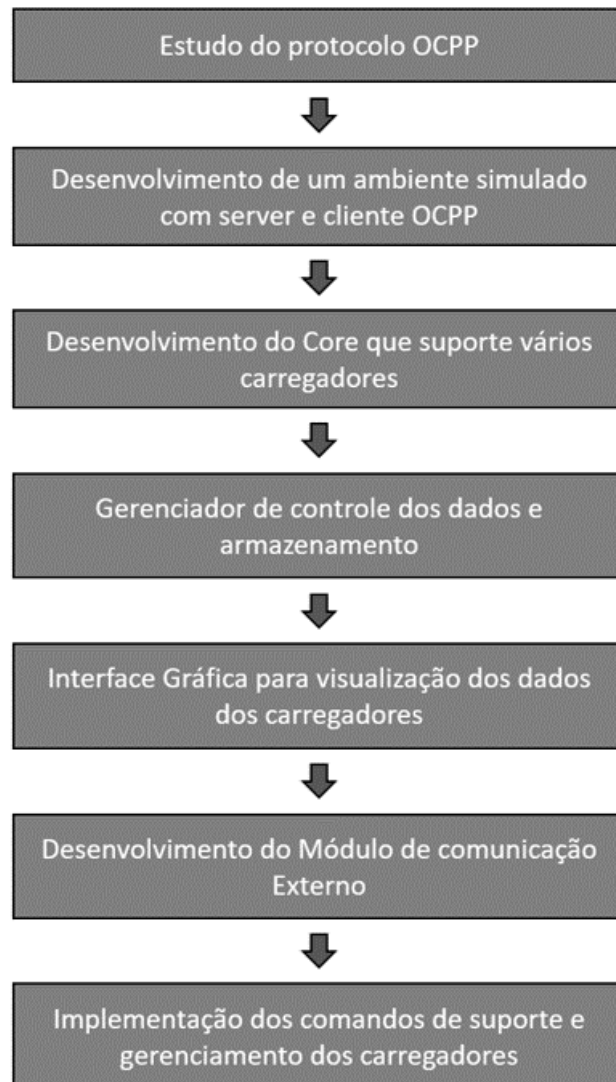
A segunda etapa, visa o desenvolvimento de um ambiente simulado com uma Central de Gerenciamento (CPO) e uma ERVE como cliente. Isso auxiliará no entendimento inicial da aplicação e na criação do servidor base que será aprimorado nos próximos passos.

A terceira etapa, baseia-se na aplicação criada na etapa anterior, entretanto com a ERVE sendo um carregador real. A importância desta etapa está no entendimento da comunicação e a maneira que ela é implementada pelos fabricantes dos carregadores.

Por fim, as últimas etapas são o aprimoramento dos sistemas de forma que estes suportem os demais agentes do *framework*. A arquitetura conta com entradas e saídas de dados de diferentes modelos de carregadores, por este motivo, a comunicação deve ser flexível. A solução deve levar em conta modelos otimizados para a redução de problemas que podem ocorrer com o crescimento do número de carregadores simultâneos.

A Figura 17 apresenta o fluxograma da metodologia proposta, listando as etapas necessárias para alcançar os resultados da dissertação.

Figura 17 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: O Autor.

3.1 SIMULAÇÃO DO AMBIENTE

Visando o desenvolvimento para a operação em carregadores reais, é preciso a criação prévia do CPO que suporte as trocas de mensagens estabelecidas pelo protocolo OCPP. Para isso, foi utilizada uma biblioteca na linguagem Python que suporta o desenvolvimento do CPO e da ERVE para primeiros passos.

Utilizando duas Raspberry Pi modelo 3B, foi desenvolvido um código simples para testar a conexão e a troca de mensagens utilizando o protocolo OCPP 1.6J. Para a primeira parte da simulação, os serviços foram separados individualmente nas Raspberry . Desta

maneira, uma Raspberry emulou o ERVE enquanto a outra servia como CPO. A Figura 18 apresenta este primeiro arranjo.

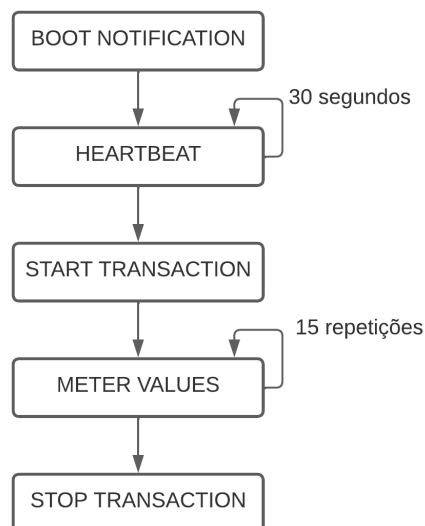
Figura 18 – Bancada inicial de simulação.



Fonte: O Autor.

Para a ERVE, foi inserido o código que consiga emular uma conexão do carregador ao CPO, após a conexão, os próximos passos foram enviar uma mensagem de *heartbeat* que por sua vez chama a mensagem para iniciar uma recarga fictícia, então, envia uma mensagem que contém os dados da recarga e por fim finaliza a recarga. Este breve fluxo de mensagens pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma do client OCPP.



Fonte: O Autor.

Como resultado deste teste simplificado, é obtido uma série de mensagens pelo lado do CPO. Este passo é importante e ajuda no entendimento de como será a comunica-

ção que será desenvolvida posteriormente pelo trabalho. Na Figura 20 pode-se visualizar as estruturas das mensagens e como que o servidor OCPP lida com essa comunicação bidirecional.

Figura 20 – Terminais com os serviços OCPP simulado. (A) Representa o CPO e (B) Representa a ERVE.

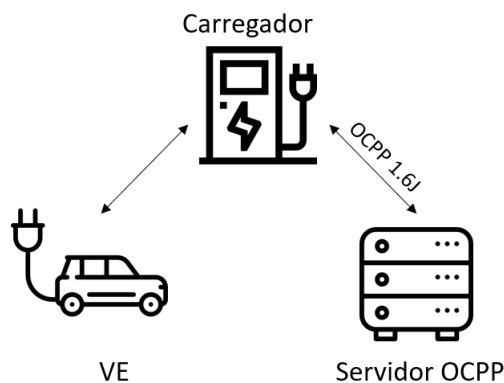
(A)

(B)

Fonte: O Autor.

Este primeiro teste simulado apresenta a arquitetura da Figura 21. Entretanto, com esta arquitetura, não será possível integrar mais de um carregador no servidor OCPP. O motivo deste impedimento é referente ao esquema apresentado na Figura 15, onde após a realização da conexão websocket, o CPO fica conectado com a ERVE, não sendo possível a conexão de novos carregadores.

Figura 21 – Arquitetura atual do sistema.



Fonte: O Autor.

A solução deste problema será explorado na próxima seção, onde serão implemen-

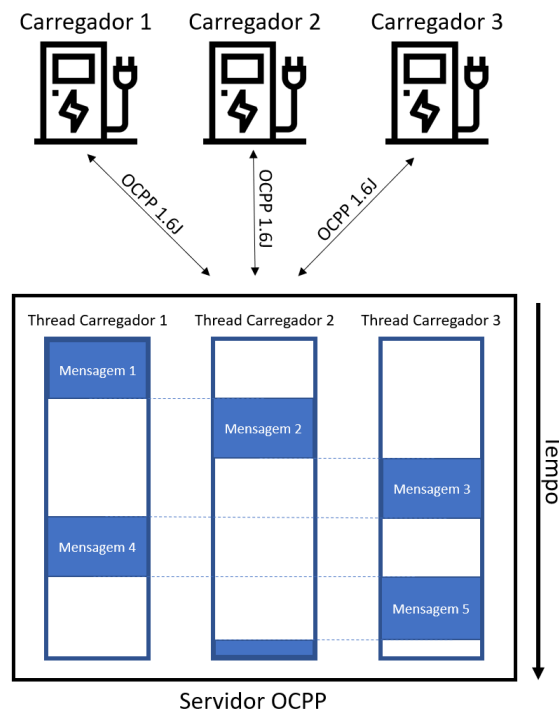
tados módulos que suportem mais conexões com as ERVEs.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS MULTITHREAD PARA SUPORTE DE CONEXÃO

Pensando no programa atual do servidor, existe um impedimento relacionado a conexão de mais carregadores no CPO desenvolvido. O motivo é a abordagem de um código sequencial no servidor, como a comunicação utiliza a troca de mensagens de maneira assíncrona e o websocket roda num serviço que permanece conectado todo o momento, podemos alterar o desenvolvimento do CPO atual para suportar mais instâncias de conexão.

Esta etapa irá abordar a criação de recurso que possibilita a conexão de mais carregadores, para isto, será utilizado o desenvolvimento *multithreading* do CPO. O *multithreading*, é uma técnica de estruturação amplamente utilizada para softwares modernos, (RINARD, 2001). Ao utilizar este modo de criação de código, irá possibilitar que o CPO lide com os carregadores de maneira paralela, desta forma, cada conexão de websocket irá rodar em uma *thread* separada, onde a organização do *software* será com base no id de cada uma dessas *threads*. A Figura 22 apresenta como será esta organização.

Figura 22 – Tratamento de mensagens em um serviço multithread.



Fonte: O Autor.

No servidor OCPP, cada carregador irá se tornar uma *thread*, dessa forma, mesmo

que o *websocket* necessite que ambos os lados fiquem conectados, o servidor irá criar uma nova *thread* de conexão toda vez que um novo carregador tentar estabelecer a comunicação. Por este motivo, a Figura, 22, apresenta como que o servidor irá lidar com mais carregadores, cada área em azul representa uma mensagem do OCPP, ao responder uma mensagem de um dos carregadores, o servidor ficará disponível para tratar outra mensagem podendo ser do mesmo carregador ou de carregadores diferentes. Para organizar essas mensagens, cada carregador terá um identificador (ID) único, consequentemente, o servidor conseguirá organizar quais mensagens são referentes a cada carregador. A Figura 23 apresenta as mensagens dos diferentes carregadores, para o teste foi estipulado o mesmo intervalo de tempo entre as mensagens dos carregadores, onde, todos se conectaram no mesmo instante. A área dentro do retângulo vermelho apresenta os IDs de cada carregador.

Figura 23 – Terminal do serviço OCPP com múltiplos carregadores.

```

2022-05-08 21:27:06 charger_fake01: receive message [2,"283:105","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:27:06 charger_fake01: send [3,"283:105",{"currentTime":"2022-05-09T00:27:06Z"}]
2022-05-08 21:27:06 charger_fake03: receive message [2,"283:106","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:27:06 charger_fake03: send [3,"283:106",{"currentTime":"2022-05-09T00:27:06Z"}]
2022-05-08 21:27:06 charger_fake02: receive message [2,"283:107","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:27:06 charger_fake02: send [3,"283:107",{"currentTime":"2022-05-09T00:27:06Z"}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake03: receive message [2,"283:108","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake03: send [3,"283:108",{"currentTime":"2022-05-09T00:37:07Z"}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake01: receive message [2,"283:109","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake01: send [3,"283:109",{"currentTime":"2022-05-09T00:37:07Z"}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake02: receive message [2,"283:110","Heartbeat",{}]
2022-05-08 21:37:07 charger_fake02: send [3,"283:110",{"currentTime":"2022-05-09T00:37:07Z"}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake03: receive message [2,"283:112","Heartbeat",{}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake03: send [3,"283:112",{"currentTime":"2022-05-09T01:47:06Z"}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake02: receive message [2,"283:113","Heartbeat",{}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake02: send [3,"283:113",{"currentTime":"2022-05-09T01:47:06Z"}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake01: receive message [2,"283:114","Heartbeat",{}]
2022-05-08 22:47:06 charger_fake01: send [3,"283:114",{"currentTime":"2022-05-09T01:47:06Z"}]
2022-05-08 22:57:06 charger_fake03: receive message [2,"283:115","Heartbeat",{}]
2022-05-08 22:57:06 charger_fake03: send [3,"283:115",{"currentTime":"2022-05-09T01:57:06Z"}]
2022-05-08 22:57:06 charger_fake01: receive message [2,"283:116","Heartbeat",{}]
2022-05-08 22:57:06 charger_fake01: send [3,"283:116",{"currentTime":"2022-05-09T01:57:06Z"}]

```

Fonte: O Autor.

3.3 MÓDULO DE ARMAZENAMENTO E CONTROLE DE DADOS

Com o servidor configurado para receber múltiplos carregadores, o próximo passo é organizar e exibir as informações que chegam no servidor. Para isso, é necessário o armazenamento dos dados que chegam dos diferentes carregadores. Logo, esta seção irá

abordar a fase de armazenamento e exibição das informações para o gerenciamento do Framework em tempo real, com base no histórico ou nos dados instantâneos da recarga.

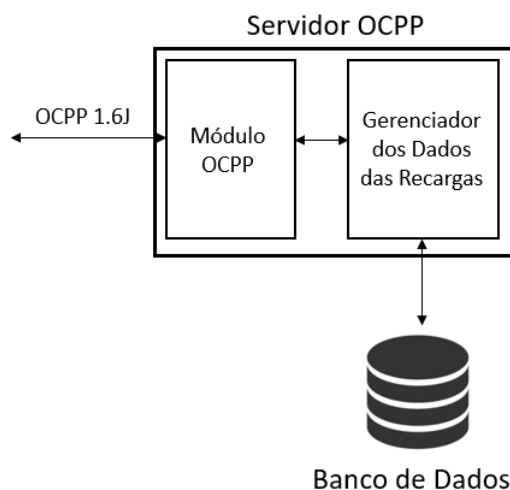
Com o crescimento da internet e da computação em nuvem, o uso do poder de armazenamento que é aplicado para o processamento de ferramentas que utilizem Big Data é alto, com um desempenho na leitura e na gravação de dados que quando utiliza bancos relacionais pode se tornar o suporte oneroso, (HAN et al., 2011). O uso de banco de dados relacional para armazenar e consultar os dados dinâmicos dos carregadores parece ser inadequado.

Segundo os esquemas do OCPP 1.6 existentes na (OCA, 2022), as mensagens seguem o modelo de chave e valor, com campos obrigatórios e campos opcionais. Por este motivo, e para evitar problemas futuros na integração com carregadores reais, o módulo de armazenamento de dados irá utilizar um banco de dados não relacional.

O banco de dados escolhido para este trabalho é o MongoDB, é um banco orientado a documentos livre, de código aberto e multiplataforma, com o armazenamento dos dados semelhantes ao formato JSON. Por estes motivos, a integração do MongoDB com o servidor OCPP que trata de mensagens no formato JSON facilita o armazenamento e diminui a necessidade de parametrização das mensagens para armazenar os dados, (MongoDB, 2022).

Para este controle dos dados, foi desenvolvido um módulo que recebe as mensagens do servidor OCPP que são provenientes das ERVEs. Após o recebimento das mensagens, este módulo, trata, organiza e armazena na base de dados do MongoDB. A Figura 24 exemplifica a nova estrutura de comunicação.

Figura 24 – Organização do servidor OCPP atual.



Fonte: O Autor.

A estrutura atual utiliza o gerenciador dos dados das recargas como organizador das mensagens, sua função é receber as mensagens brutas do OCPP, organizá-las e armazená-las no banco de dados. A mensagem que contém os dados instantâneos da

recarga é a que mais possui variações, dependendo do modelo do carregador, esta mensagem pode conter dados das redes monofásicas, trifásicas ou dos carregadores que realizam a carga em corrente contínua. A Tabela 3 apresenta alguns campos que podem estar presentes na mensagem, sendo diferente para cada modelo de carregador.

Tabela 3 – Campos presentes na mensagem Meter Value.

Campo	Valores
Unidades	Wh, kWh, varh, kvarh, W, kW, VA, kVA, var kvar, A, V, K, Celcius, Celsius, Fahrenheit, Percent, Hertz
Fases	L1, L2, L3, N, L1-N, L2-N, L3-N, L1-L2, L2-L3, L3-L1
Medidas	Energy Active Export Register, Energy Active Import Register, Energy Reactive Export Register, Energy Reactive Import Register, Energy Active Export Interval, Energy Active Import Interval, Energy Reactive Export Interval, Energy Reactive Import Interval, Power Active Export, Power Active Import, Power Offered, Power Reactive Export, Power Reactive Import, Power Factor, Current Import, Current Export, Current Offered, Voltage, Frequency, Temperature, SoC, RPM
Contexto	Interruption Begin, Interruption End, Sample Clock, Sample Periodic, Transaction Begin, Transaction End, Trigger, Other
Local	Cable, EV, Inlet, Outlet, Body

Fonte: O Autor.

Utilizando os campos da Tabela 3 foram organizados alguns campos que podem ser atribuídos a um carregador real. Isto resultou na Figura 25. que apresenta um exemplo de mensagem que o carregador envia para o servidor quando está realizando uma recarga, para esta figura, os dados são fictícios com base nos esquemas disponibilizados pelo protocolo.

Figura 25 – Campos do Meter Value para um carregador CA trifásico.

```
{
  "connectorId":1,
  "transactionId":68998625,
  "meterValue":[
    {
      "timestamp": "2022-10-06T14:35:55Z",
      "sampledValue": [
        {
          "value": "7.856",
          "measurand": "Current.Import",
          "phase": "L1",
          "unit": "A"
        },
        {
          "value": "7.984",
          "measurand": "Current.Import",
          "phase": "L2",
          "unit": "A"
        },
        {
          "value": "7.76",
          "measurand": "Current.Import",
          "phase": "L3",
          "unit": "A"
        },
        {
          "value": "6089",
          "measurand": "Energy.Active.Import.Register",
          "unit": "kWh"
        },
        {
          "value": "59.95",
          "measurand": "Frequency"
        },
        {
          "value": "1.6",
          "measurand": "Power.Active.Import",
          "unit": "kW"
        },
        {
          "value": "22",
          "measurand": "Temperature",
          "unit": "Celsius"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Fonte: O Autor.

No exemplo da Figura 25, após o gerenciador receber a mensagem, é verificado se o ID do carregador existe banco de dados, se sim, inicia os passos seguintes que são: separar os dados pelo horário presente na mensagem, organizar em um objeto JSON e armazenar no banco de dados. Para o gerenciador, foram consideradas a variação nas mensagens, mesmo existindo modelos diferentes de carregadores, a construção da mensagem pode seguir um padrão. Logo, os campos que serão separados nos carregadores serão: tensão, corrente, potência, energia e temperatura, caso tenha mais informações que podem ser referentes a carregadores em corrente alternada, também serão armazenados: frequência e corrente por fase. O resultado pode ser visto na Figura 26, que é o

JSON armazenado no banco de dados.

Figura 26 – Estrutura da mensagem armazenada no MongoDB.

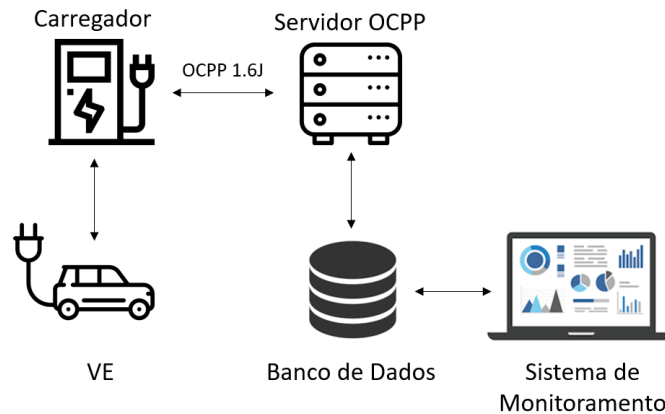
```
{
  "_id": {
    "$oid": "635c18773eb9bd2c0cd09473"
  },
  "charger_id": "carregador_teste01",
  "connector_id": 56458675,
  "transaction_id": 15961,
  "meter_value": [
    {
      "CorrenteAL1": "7.856",
      "CorrenteAL2": "7.984",
      "CorrenteAL3": "7.76",
      "EnergiaUnidade": "kWh",
      "RegistradorEnergia": "6089",
      "FrequenciaHZ": "59.95",
      "PotenciaUnidade": "kW",
      "Potencia": "1.6",
      "TemperaturaUnidade": "Celsius",
      "Temperatura": "22",
      "timestamp": "2022-10-06T14:35:55Z"
    }
  ],
  "__v": 0
}
```

Fonte: O Autor.

3.4 INTERFACE GRÁFICA PARA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DOS CARREGADORES

Com os dados armazenados, o próximo passo é a visualização destes dados de forma clara e objetiva. A arquitetura atual contém um serviço de comunicação OCPP, um core *multithread* para múltiplas instâncias de conexão, um gerenciador dos dados das recargas e o banco de dados, desta forma, a interface gráfica irá utilizar dos dados armazenados para exibir as informações no *dashboard*. A Figura 27 apresenta a organização que será aplicada nesta seção.

Figura 27 – Arquitetura atual com a adição do sistema de monitoramento.



Fonte: O Autor.

Para a etapa de criação do *dashboard*, foi utilizada uma interface gráfica que possui os recursos necessários para o desenvolvimento, a plataforma escolhida foi o Grafana. O Grafana é um *software* de código aberto que permite visualizar os dados salvos no banco de dados, (Grafana Labs, 2022) .

Com ele, é possível a adição de métricas e alertas, tornando-o um ótimo *software* de visualização dos dados por parte do CPO. A Figura 28, apresenta o primeiro *dashboard* que será aplicado no trabalho. Os dados atuais foram projetados a partir da simulação de recarga simulada, onde os dados foram armazenados no banco de dados, para a tela atual, foram considerados os campos que representam em tempo real o comportamento da recarga.

Figura 28 – Dashboard inicial desenvolvido na plataforma Grafana.

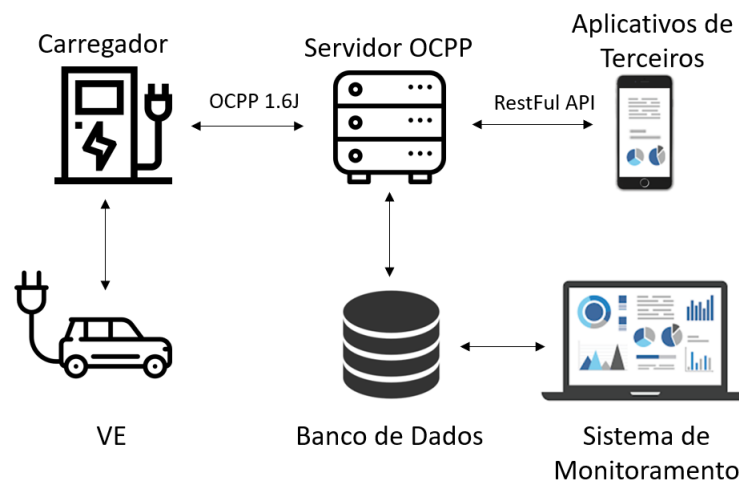


Fonte: O Autor.

3.5 MÓDULO DE COMUNICAÇÃO EXTERNO

A partir do servidor OCPP da arquitetura atual, a possibilidade de interações remotas que controlem as ERVEs torna-se necessário. Mediante a aplicação suportar os comandos remotos que pertencem ao protocolo, esta seção irá detalhar os passos seguidos para o desenvolvimento de uma interface de programação de aplicação (API) de controle, cuja a função principal é o gerenciamento dos carregadores. A Figura 29, apresenta o arranjo visado nesta etapa.

Figura 29 – Arquitetura atual do sistema com adição da API para controle dos carregadores.



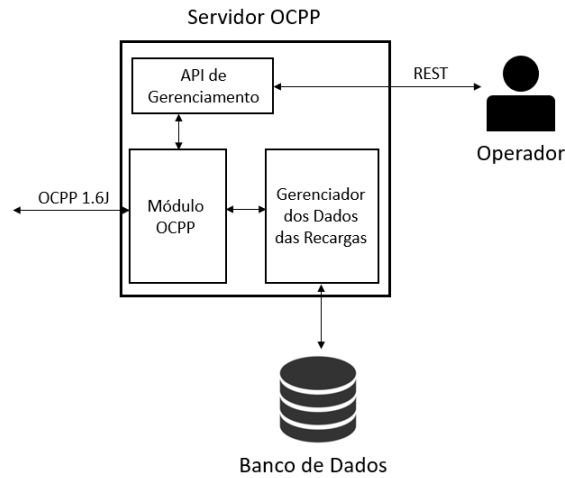
Fonte: O Autor.

A API irá possibilitar o melhor controle dos serviços, sendo uma entrada e saída de informações. Também poderá acoplar os aplicativos de empresas parceiras que desejam utilizar os serviços do *framework*, criando um arranjo de gerenciamento das ERVEs.

A construção terá como base a arquitetura de transferência de estado representacional (REST), como modelo de comunicação da API. É uma arquitetura de *software* que impõe regras sobre como uma API deve funcionar. A REST foi criada inicialmente como uma diretriz para gerenciar a comunicação em uma rede complexa como a internet. Uma aplicação que utilize REST como método de comunicação é robusta, confiável e de alta performance em escala, (Amazon Web Services, 2022).

Inicialmente, a API irá se comunicar apenas com o Módulo OCPP, como apresenta a Figura 30. Logo, as operações que serão modeladas são todas para controle direto dos carregadores e suporte para os comandos remotos existentes no OCPP.

Figura 30 – Organização do Servidor OCPP.

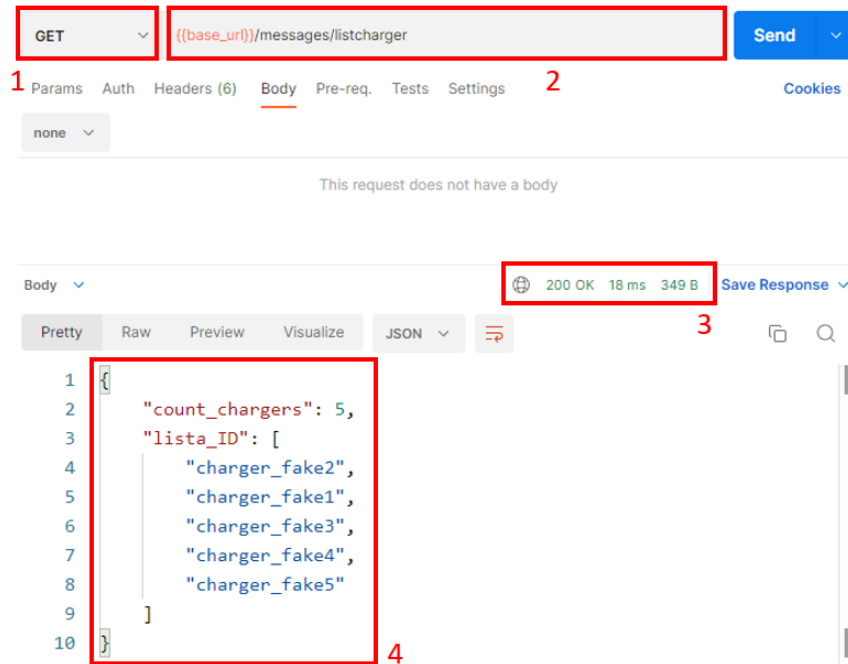


Fonte: O Autor.

Como exemplo, se o operador deseja saber quais carregadores estão conectados em dado momento, sem a API, é preciso acessar o banco de dados e pegar os horários das últimas mensagens, entretanto, isso não dá a certeza que a estação realmente está conectada em certo momento. Para corrigir este problema, foi implementado na API uma chamada que retorna as *threads* com conexão WebSocket ativas, como o identificador individual da *thread* é o ID do carregador, o operador consegue com um comando obter a lista de conexão.

A Figura 31 apresenta a chamada que lista os carregadores conectados atualmente no módulo OCPP. Para o teste, foi utilizado o aplicativo Postman para as chamadas REST. A Figura apresenta alguns pontos relevantes para chamadas que utilizam a arquitetura REST.

Figura 31 – Interface do Postman para chamadas REST.



Fonte: O Autor.

Para a Figura 31 temos:

- item 1: O método utilizado, para esta chamada foi utilizado o método GET. Na arquitetura REST, existem outros métodos que são empregados de acordo com as operações setadas na API.
- item 2: O endereço da chamada com a rota da requisição mapeada. Cada rota é responsável por determinada ação da API.
- item 3: O status da requisição, ele sinaliza se a chamada foi executada corretamente. Em caso de erro, irá exibir um valor diferente, mapeando cada tipo de erro que pode acontecer ao chamar a API.
- item 4: A resposta da requisição, para esta chamada, o resultado é a lista dos carregadores conectados.

3.6 IMPLEMENTAÇÃO DOS COMANDOS DE GERENCIAMENTO DO CARREGADOR

Após estabelecida a arquitetura do servidor OCPP e o ambiente de simulação, vê-se a necessidade de implementar os comandos que pertencem ao protocolo na versão

1.6J. Através do estudo do protocolo, é possível separar as mensagens programadas em dois grupos.

O primeiro grupo engloba as mensagens que a ERVE envia para o CPO, sendo mensagens que relatam o estado atual do carregador. Já o segundo grupo determina quais comandos que o CPO pode enviar para a ERVE.

Os grupos de mensagens são apresentados na Tabela 4. A API de gerenciamento, da Figura 30, é responsável pelo processamento das mensagens que são enviadas do servidor para o carregador, por este motivo, sua implementação era necessária.

Tabela 4 – Mensagens implementadas no Módulo OCPP.

Mensagem	Sentido	
	Carregador para o servidor	Servidor para o carregador
Boot Notification	X	
Authorize	X	
Heartbeat	X	
Meter Values	X	
Data Transfer	X	
Start Transaction	X	
Status Notification	X	
Stop Transaction	X	
Change Availability		X
Change Configuration		X
Clear Cache		X
Get Configuration		X
Remote Start Transaction		X
Remote Stop Transaction		X
Reset		X
Unlock Connector		X

Fonte: O Autor.

Cada uma dessas mensagens tem como finalidade uma ação específica. Para melhor compreensão, as próximas subseções irão detalhar cada um dos grupos.

3.6.1 Mensagens do Carregador para o Servidor

As mensagens que o carregador envia para o servidor são para expressar estados e ações que estão sendo executadas apenas pelo lado do carregador. Estas mensagens não dependem do servidor, entretanto, como a comunicação é bidirecional, algumas men-

sagens precisam de resposta do servidor com parâmetros. A Tabela 5, exibe os campos que são enviados pelo carregador e quais campos que espera como resposta.

Tabela 5 – Mensagens enviadas pelo carregador para o servidor

Mensagem	Campos enviados	Resposta do servidor
Boot Notification	Charge Point Model, Charge Point Vendor, Meter Type, Charge Box Serial Number, Charge Point Serial Number, Imsi, Iccid, Firmware Version, Meter Serial Number	Current Time, Interval, Status
Authorize	Id Tag	Id Tag Info
Heartbeat	-	Current Time
Meter Values	Connector Id, Meter Value, Transaction Id	-
Data Transfer	Vendor Id, Message Id, Data	Status, Data
Start Transaction	Id Tag, Connector Id, Charging Profile	Transaction Id, Id Tag Info
Status Notification	Connector Id, Error Code, Info, Status, Timestamp, Vendor Id, Vendor Error Code	-
Stop Transaction	Meter Stop, Timestamp, Transaction Id, Reason, Id Tag, Transaction Data	Id Tag Info

Fonte: (OCA, 2022)

Para a tabela acima temos:

- **Boot Notification:** Mensagem que a ERVE envia quando é iniciada. Essa é uma das mensagens mais conteúdo, contudo, os campos correspondem às características do carregador, por exemplo, o número serial e a versão do firmware. A resposta para esta mensagem contém o horário atual do servidor, o intervalo para o envio do Heartbeat e o estado da requisição.
- **Authorize:** Antes que um usuário consiga iniciar uma recarga, o ponto de carregamento irá enviar essa mensagem. Esta mensagem é utilizada para controle do carregador, podendo existir uma lista de usuários habilitados para efetuar a recarga no próprio carregador ou sendo necessário consultar o servidor para a permissão da recarga.
- **Heartbeat:** Mensagem para informar que a ERVE continua conectada ao servidor. Como resposta, é enviado apenas o horário atual.
- **Meter Values:** Mensagem que contém os dados instantâneos da recarga, um exemplo desta mensagem pode ser visto na Figura 25. Esta mensagem não precisa de parâmetros como resposta.

- **Data Transfer:** É utilizada para enviar informações que normalmente não são suportadas pelo OCPP. Esta mensagem possibilita aos carregadores uma troca de informações proprietária. Como resposta, pode-se enviar dados e o estado de aceite ou não da mensagem.
- **Start Transaction:** Todo início de recarga, o carregador irá enviar informações que possibilite ao servidor identificar qual cliente está conectado ao carregador. Como resposta, o servidor deve enviar o ID da recarga e se aceita ou não que a recarga inicie.
- **Status Notification:** Sempre que mudar o estado atual do carregador, será enviada uma mensagem atualizando sobre o estado do dispositivo, por exemplo, ao iniciar uma recarga, ao finalizar uma recarga, iniciar o carregador, problemas internos, mensagens de erro, etc. Esta mensagem não precisa de um retorno do servidor.
- **Stop Transaction:** Todo final de recarga, o carregador irá enviar informações referente a toda a recarga, um exemplo é o tempo da recarga e por qual motivo que foi acionado a sua finalização.

3.6.2 Mensagens do Servidor para o Carregador

As mensagens do servidor para o carregador são destinadas para envio de comandos para gerenciamento das ERVEs. Com estas mensagens o operador consegue controlar recargas, estado do carregador e as permissões do carregador. Semelhante a seção anterior, os comandos possuem os campos que precisam ser enviados, e desta vez, quem é responsável pela resposta é o carregador, a Tabela 6 apresenta estes campos.

Tabela 6 – Mensagens enviadas pelo servidor para o carregador.

Mensagem	Campos enviados	Resposta do carregador
Change Availability	Connector Id, Type	Status
Change Configuration	Key, Value	Status
Clear Cache	-	Status
Get Configuration	Key	Configuration Key
Remote Start Transaction	Id Tag, Connector Id, Charging Profile	Status
Remote Stop Transaction	Transaction Id	Status
Reset	Type	Status
Unlock Connector	Connector Id	Status

Fonte: (OCA, 2022)

Para a tabela 6, percebe-se a diferença nas respostas de cada mensagem, onde, na grande maioria, o carregador responde o estado da requisição, sendo ela aceita ou não. Para as mensagens temos:

- **Change Availability:** Operação que habilita ou desabilita um plug do carregador, em modelos onde o carregador possui apenas um conector, toda a operação será afetada.
- **Change Configuration:** Chamada que altera parâmetros internos dos registradores do carregador. Com esta função, pode modificar os dados que o carregador envia ou a frequência deste envio, também é possível desabilitar algumas mensagens.
- **Clear Cache:** Mensagem que remove as autorizações dos usuários que estão armazenadas no carregador. Estas autorizações são referentes ao controle interno do carregador para a mensagem de Authorize.
- **Get Configuration:** Lista uma configuração específica ou todas as configurações do carregador. Com esta chamada, é possível compreender as especificações do carregador e quais são as particularidades do fabricante para aquele modelo. Diferente das demais, esta é a única mensagem que não irá devolver o estado do carregador e sim a lista de configurações.
- **Remote Start Transaction:** Comando que possibilita iniciar a recarga remotamente. Seu uso pode ser empregado nos casos que o usuário não possui permissão para iniciar a recarga, ou em casos que o veículo é plugado no carregador e por algum motivo a recarga não iniciou.
- **Remote Stop Transaction:** Comando que interrompe uma recarga remotamente. Esta mensagem pode ser utilizada para controle no uso do carregador, interrompendo uma recarga atual para disponibilizar o carregador para outro usuário.
- **Reset:** Comando que reinicia o carregador ou simplesmente a aplicação OCPP do carregador, seu uso é empregado em momentos que o carregador apresenta algum erro de uso ou quando é necessário reiniciar para aplicar alguma atualização.
- **Unlock Connector:** Operação que destrava o conector. O protocolo OCPP ressalva que esta mensagem não deve ser utilizada para finalizar uma recarga e sim quando o conector fica travado no veículo por consequência de algum erro.

3.7 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou as tecnologias empregadas no desenvolvimento desta dissertação. Inicialmente, foi apresentado o fluxograma do trabalho que elencou as etapas a serem seguidas para alcançar um módulo de comunicação robusto que suporte todas as operações do OCPP 1.6J.

Com a arquitetura criada, é possível se comunicar com múltiplos carregadores, filtrar os dados, visualizar as recargas e administrar as ERVEs. Esta arquitetura foi planejada para suportar a conexão com o *framework* multiagente que posteriormente irá controlar os carregadores por meio de comandos atribuídos dos clientes terceiros, gerando assim, um sistema distribuído para gerenciamento das ERVEs.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso que constitui parte do projeto de P&D estratégico da ANEEL Chamada P022 - PD 2866-0519/2019. Este projeto tem como objetivo uma interface de inovação multiagente envolvendo a indústria automobilística, os sistemas de energia e infraestruturas de mobilidade elétrica para eletrovias inteligentes, desenvolvido pela COPEL-DIS juntamente com a UFSM e CIBIOGAS. Este capítulo irá apresentar a integração prática do sistema desenvolvido no capítulo anterior.

Este capítulo será separado em três etapas:

- **Integração do servidor OCPP com o carregador CA:** Será descrito os passos para a integração, particularidades do carregador e as suas limitações.
- **Integração do servidor OCPP com os carregadores rápidos que constituem a eletrovia gaúcha:** O gerenciamento dos carregadores rápidos da eletrovia, particularidades e as novas possibilidades de controle.
- **Controle de carga e desenvolvimento do carregamento inteligente:** Desenvolvimento das aplicações que suportam o controle de carga, os casos que são aplicadas e a integração com o *framework*.
- **Integração com os demais carregadores:** Integração com o restante dos carregadores e suas particularidades.

Esta ordem no desenvolvimento foi seguida a partir dos requisitos passados pela fabricante dos carregadores e parceira do projeto de P&D, a ABB. Para gerenciar os carregadores rápidos da ABB, é preciso que o servidor desenvolvido passe por uma etapa de validação. Esta validação irá determinar se existem pontos que devem ser corrigidos antes de qualquer conexão com os carregadores CC. Por este motivo, o estudo de caso irá iniciar em um carregador que não precisa desta validação prévia, um carregador CA.

4.1 INTEGRAÇÃO COM O CARREGADOR CA

O primeiro carregador físico que fará parte do servidor OCPP é o Terra Wallbox CA de 7 kW como mostra a Figura 32. Com um carregamento do modo 3 e um conector do tipo 2, este carregador faz parte do grupo residencial, por este motivo, suas interações são limitadas a controles simples por parte do usuário.

Figura 32 – Carregador TAC-W7-G5-R-0 da ABB.



Fonte: (ABB, 2022).

Para a primeira conexão com este carregador, foi necessário solicitar para a ABB a liberação de um usuário com poder administrativo nas plataformas de gerenciamento. Com este usuário, é possível acessar as configurações do OCPP que possibilitam apontar sua conexão Websocket para a URL do servidor OCPP. A Figura 33 mostra o primeiro arranjo do servidor OCPP presente na Raspberry PI com o carregador Terra CA de 7 kW.

Figura 33 – Arranjo inicial para testes com carregador físico.



Fonte: O Autor.

Após a conexão estabelecida, o próximo passo é plugar o carregador no VE para testar a comunicação do protocolo OCPP 1.6 em um ambiente real. Para este primeiro

teste foram seguidos os seguintes passos:

- Passo 1: Abrir o terminal do servidor para capturar a comunicação;
- Passo 2: Conectar o carregador no veículo elétrico;
- Passo 3: Aguardar o envio de duas mensagens de Meter Values;
- Passo 4: Cancelar a recarga pelo aplicativo proprietário do carregador.

Estas etapas resultaram na Figura 34.

Figura 34 – Captura da primeira comunicação OCPP com um carregador real.

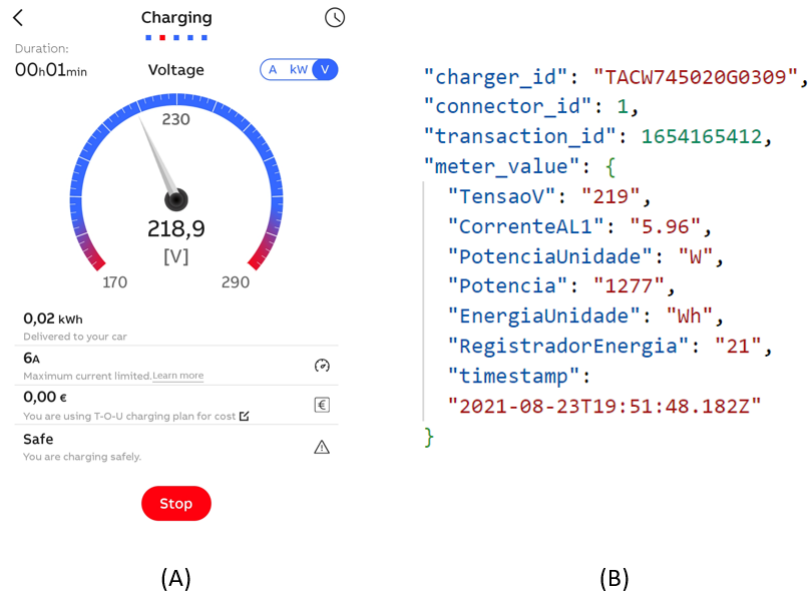
```
INFO: Server Started listening to new connections...
INFO:Protocol Matched: 1.6
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "5281674", "BootNotification",
{"chargePointModel": "CDT_TACW7::NET_WIFI", "chargePointVendor": "Chargedot",
"ChargeBoxSerialNumber": "TACW745020G0309", "firmwareVersion": "TAC1Z9118606710273::V1.3.5",
"meterType": "V1"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"5281674", {"currentTime":"2021-08-24T11:10:47.204280",
"interval":10,"status":"Accepted"}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "3076729", "StatusNotification", {"connectorId":
0, "errorCode": "NoError", "info": "null", "status": "Available", "vendorErrorCode": "0x00"}]
INFO::TACW745020G0309:send [3,"3076729",{}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "5118706", "StatusNotification", {"connectorId":
1, "errorCode": "NoError", "info": "null", "status": "Available", "vendorErrorCode": "0x00"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"5118706",{}] 4
INFO::TACW745020G0309:receive message [2, "9056752", "Heartbeat",{}]
INFO::TACW745020G0309:send [3,"9056752", {"currentTime":"2021-08-24T11:10:572"}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "0525348", "Heartbeat", {}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "4233032", "StartTransaction", {"connectorId": 1,
"idTag": "TACW745020G0309", "meterStart": 0, "timestamp":
"2021-08-24T11:13:03.0002"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"4233032", {"transactionId":1,"idTagInfo":
{"status":"Accepted"}}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "7100643", "Heartbeat", {}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"7100643", {"currentTime":"2021-08-24T11:20:812"}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "0741992", "MeterValues", {"connectorId": 1,
"transactionId": 1, "meterValue": [{ ... }]}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"0741992",{}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "9469968", "Heartbeat", {}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"9469968",{"currentTime":"2021-08-24T11:13:582"}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "3890750", "MeterValues", {"connectorId": 1,
"transactionId": 1, "meterValue": [{ ... }]}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"3890750", {}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "0198326", "StatusNotification", {"connectorId":
1, "errorCode": "NoError", "info": "null", "status": "SuspendedEV", "vendorErrorCode":
"0x00"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"0198326",{}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "9301748", "Heartbeat", {}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"9301748", {"currentTime":"2021-08-24T11:18:062"}]
[INFO:: TACW745020G0309: receive message [2, "0375948", "StatusNotification", f"connectorId":
1, "errorCode": "NoError", "info": "null", "status": "Finishing", "vendorErrorCode": "0x00"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"0375948",{}]
INFO::TACW745020G0309: receive message [2, "8351765", "StopTransaction", {"meterStop": 106,
"idTag": "BLUE18721", "timestamp": "2021-08-24T12:45:37.0002", "transactionId": 1, "reason":
"Local"}]
INFO::TACW745020G0309: send [3,"8351765", {}]
```

Fonte: O Autor.

Como a primeira troca de mensagens foi realizada com sucesso, o próximo passo é apurar se os dados que a mensagem das grandezas instantâneas está parametrizada

com os valores reais. Para isto, utilizando o aplicativo do fabricante, foi comparada uma mensagem das grandezas com os dados do aplicativo. A Figura 35, mostra a comparação destes valores.

Figura 35 – Comparação entre os valores instantâneos: (A) Aplicativo proprietário da ABB e (B) Mensagem do OCPP salva no MongoDB.



Fonte: O Autor.

O comparativo da Figura 35 mostra a precisão dos dados da recarga que o OCPP disponibiliza, mesmo com o carregador limitado a uma potência de carregamento baixa, os dados são bastante fiéis aos dados do aplicativo.

Este primeiro teste colocou em prática o servidor e a comunicação bidirecional das mensagens simples do carregador. Com as mensagens que compõem a Tabela 4 testadas e validadas, o próximo passo é a integração com os carregadores rápidos.

4.2 INTEGRAÇÃO DO SERVIDOR OCPP COM OS CARREGADORES RÁPIDOS QUE CONSTITUEM A ELETROVIA GAÚCHA

4.2.1 Integração com o carregador rápido da UFSM

Após o desenvolvimento do perfil básico de operações, representado pela Tabela 4, tornou-se possível a integração do carregador rápido da ABB, Figura 36, instalado dentro da UFSM. Este carregador faz parte do modo 4 de carregamento, contendo três conectores, sendo eles: um conector tipo 2 CA de 22 kW, um conector Tipo 2 CCS de 50 kW e

um conector CHAdeMO de 50 kW. Entretanto, este modelo suporta apenas duas recargas simultâneas se utilizar o conector CA e apenas um dos conectores CC, não sendo possível a recarga utilizando os dois conectores CC simultaneamente.

Figura 36 – Carregador rápido modelo Terra DC 54 HV.

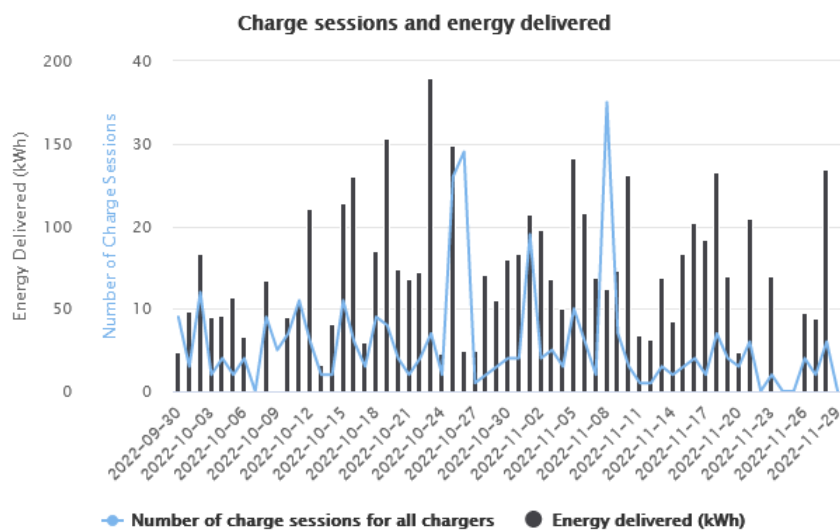


Fonte: (ABB, 2022).

Com um grupo de configurações mais completo e a possibilidade de exibir o *State of Charge*(SoC) da bateria, este carregador, possui diferentes recursos que possibilita uma operação mais assertiva sobre os conectores separadamente. Ao integrá-lo ao servidor OCPP, é possível acompanhar em tempo real sua operação, organizar prioridades e controlar o uso de cada conector.

Este carregador possui uma plataforma de controle, disponibilizada pela fabricante. Todas as operações presentes na plataforma são de caráter administrativo, como por exemplo, a habilitação ou não do serviço OCPP do carregador. A Figura 37 exibe uma tela de relatório do uso do carregador gerado pela plataforma da ABB.

Figura 37 – Relatório de recargas da plataforma da ABB.



Fonte: (ABB, 2022).

Os gráficos gerados representam o consumo de energia e a quantidade de recargas finalizadas no período, não sendo possível o acompanhamento da recarga em tempo real. Por este motivo, a fabricante disponibiliza a conexão OCPP, deixando a critério do desenvolvedor as escolhas de como será o monitoramento e o controle em tempo real.

Para este estudo de caso, inicialmente, foi utilizado o veículo elétrico do modelo Nissan Leaf com bateria de 44 kWh da Figura 38. Este modelo possui duas conexões de carregamento, uma entrada do tipo 1 CA e uma entrada CHAdeMO.

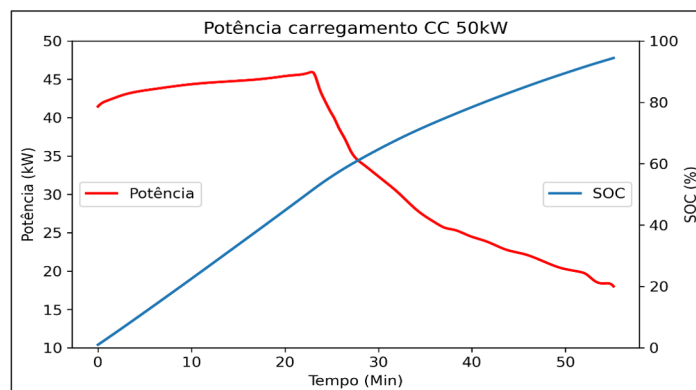
Figura 38 – Veículo utilizado para testar a implementação com o carregador rápido da ABB.



Fonte: O Autor.

Como este carregador não possui o monitoramento em tempo real disponível pelo fabricante, para validar a precisão dos dados do carregamento foi utilizado um wattímetro trifásico para monitorar a potência consumida pelo carregador. Para a primeira recarga do Nissan Leaf foi dada uma recarga dos 2% de SoC até completar toda a capacidade da bateria. Esta recarga pode ser vista na Figura 39.

Figura 39 – Potência trifásica de carregamento 2-95%.



Fonte: (MARTINS et al., 2022).

Para facilitar a visualização dos dados, foi construído um *dashboard* no Grafana para este carregador, como mostra a Figura 40. A Figura apresenta o uso do carregador durante o período de uma semana. Um dado importante que este modelo de recarregador disponibiliza é o SoC atual da bateria do veículo que também é exibido no dashboard abaixo.

Figura 40 – Tela de visualização de dados do carregador rápido da UFSM.



Fonte: O Autor.

Finalmente, os últimos testes neste carregador foram validar os comandos remotos da Tabela 6. Como este carregador possui mais de um conector para carregamento, os comandos podem ser direcionados para cada conector ou para o carregador inteiro, desta forma, uma ERVE pode ser operada de maneiras distintas.

Com o monitoramento foi possível elencar ações que o operador pode tomar sobre o carregador para melhorar a experiência do usuário. O período avaliado foi de Janeiro até Março de 2022, onde o carregador registrou mais de 40 recargas. Com os comandos implementados tivemos:

- No período da operação, o carregador apresentou um número considerável de problemas que impossibilitava os usuários a efetuar as recargas, neste momento, a ação tomada era o Reset, em casos que o problema era *hardware* era necessário o Hard Reset.
- Como este modelo não suporta o carregamento dos dois conectores CC simultâneos, em alguns momentos era necessário interromper remotamente um veículo para que o outro usuário com maior urgência conseguisse utilizar a recarga rápida.

- Durante este período também tiveram momentos que o Charge Availability foi utilizado para bloquear o uso de um dos conectores do carregador, com o objetivo de realizar testes unitários da integração do servidor com *softwares* terceiros.

Por se tratar de um carregador rápido e público, a procura por parte dos usuários cresceu significativamente, resultando em diferentes modelos de VEs utilizando este carregador, a Figura 41.

Figura 41 – Diferentes modelos de veículos elétricos que carregaram no Terra 54 HV.

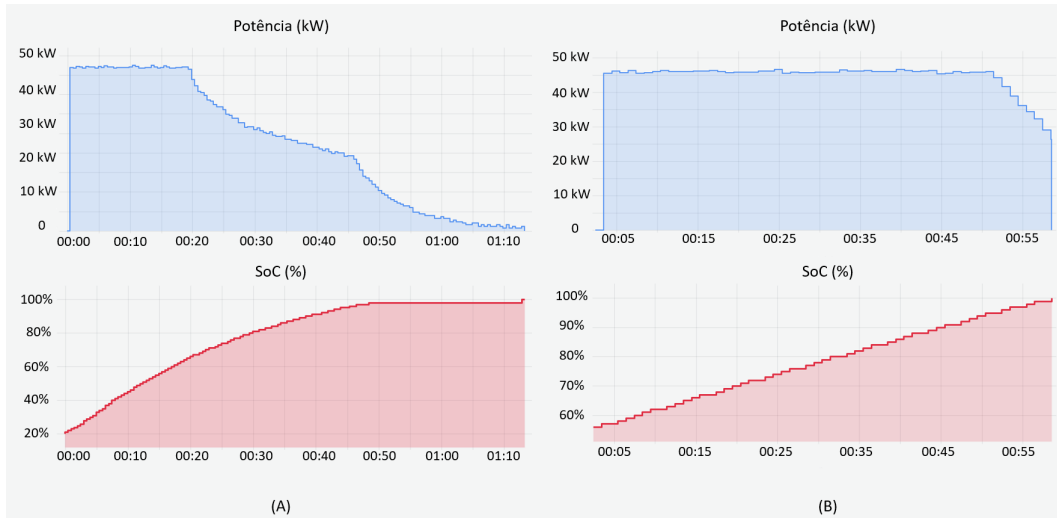


Fonte: O Autor.

Com esta frota de veículos de diferentes modelos utilizando o carregador da UFSM, é possível diferenciar o comportamento do carregador no momento da recarga. Cada veículo possui um perfil de recarga, e isto ficou mais evidente com o monitoramento em tempo real.

O Nissan Leaf, por exemplo, tem sua recarga com potência máxima até alcançar os 60% de SoC, após este momento, a potência de carregamento é reduzida resultando no aumentando do tempo necessário para efetuar uma carga completa de sua bateria. Por outro lado, se analisar a recarga do Audi E-tron, percebe-se que a potência de carregamento é mais consistente, sendo ela em potência máxima até alcançar o SoC de 96%, após este momento a recarga também sofre uma queda na potência. Um comparativo destes perfis de carregamento pode ser visto na Figura 42.

Figura 42 – Comparativo entre as cargas: (A) Nissan Leaf com bateria de 40 kWh (B) Audi Etron com bateria de 95 kWh.

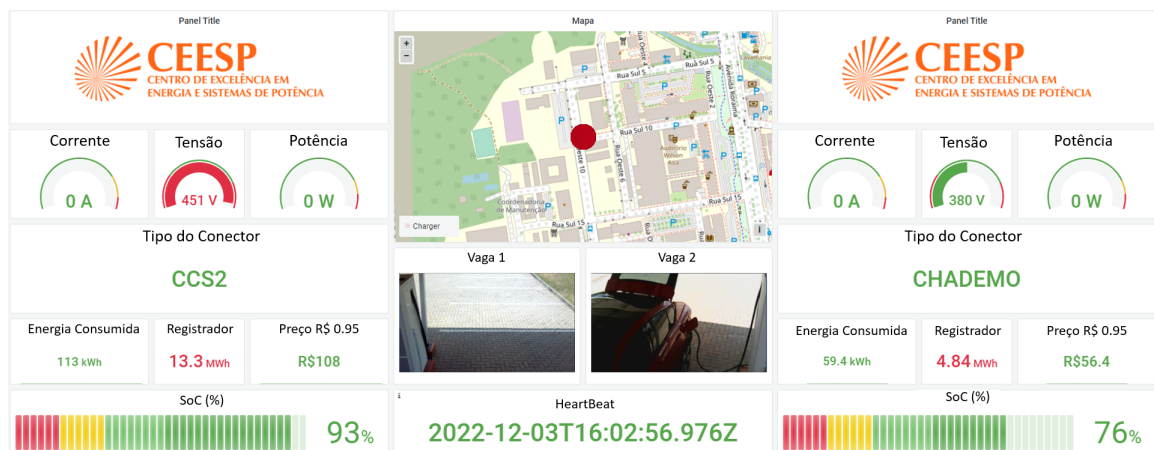


Fonte: O Autor.

Este comparativo entre as recargas mostra que o tempo necessário para uma recarga é relativo, não dependendo apenas do tamanho da bateria, mas também do perfil de carregamento. Se analisar o tempo das recargas, chegamos no resultado que o Audi E-tron com bateria de 95 kWh leva quase o mesmo tempo que o Nissan Leaf de bateria de 40 kWh para carregar dos 60% até os 100%.

Embora o protocolo OCPP possibilite o monitoramento da recarga em tempo real, um dado que não está presente nas mensagens é o modelo do veículo que está carregando. Para suprir esta necessidade, o *dashboard* foi atualizado com câmeras, assim, toda vez que receber os dados de uma recarga é possível identificar o modelo do veículo. O objetivo disto é criar uma base de dados com os perfis de carga de cada modelo de VE. A Figura 43 mostra um exemplo do novo *dashboard*.

Figura 43 – Quantidade de veículos elétricos de 2010 até 2021.

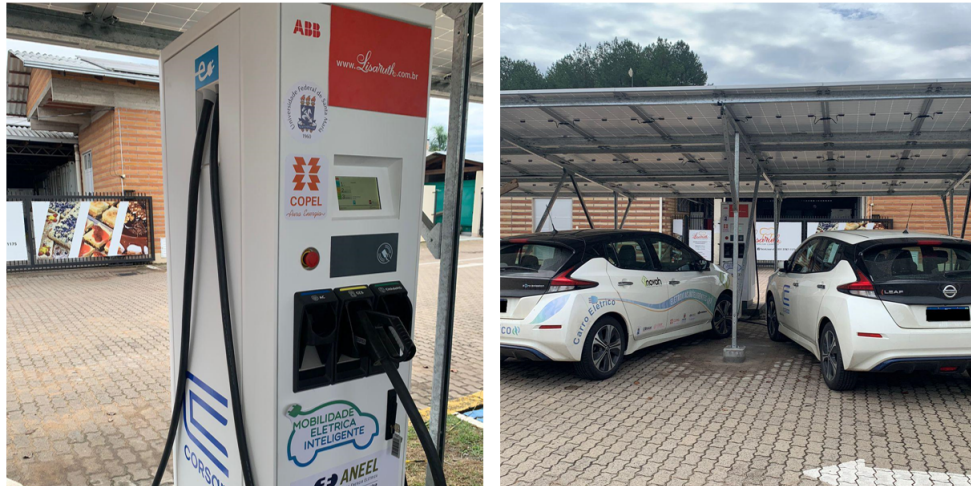


Fonte: O Autor.

4.2.2 O carregador rápido instalado no Restaurante Lisaruth

O segundo carregador rápido foi instalado no restaurante Lisaruth, em Santa Cruz do Sul. Este carregador também é do modelo Terra DC 54 HV da ABB, igual ao instalado na UFSM. Por se tratar do mesmo modelo, não foi necessário alterar o servidor OCPP. a Figura 44 mostra o carregador instalado no Lisaruth.

Figura 44 – Carregador Terra DC 54 HV instalado no restaurante Lisaruth.



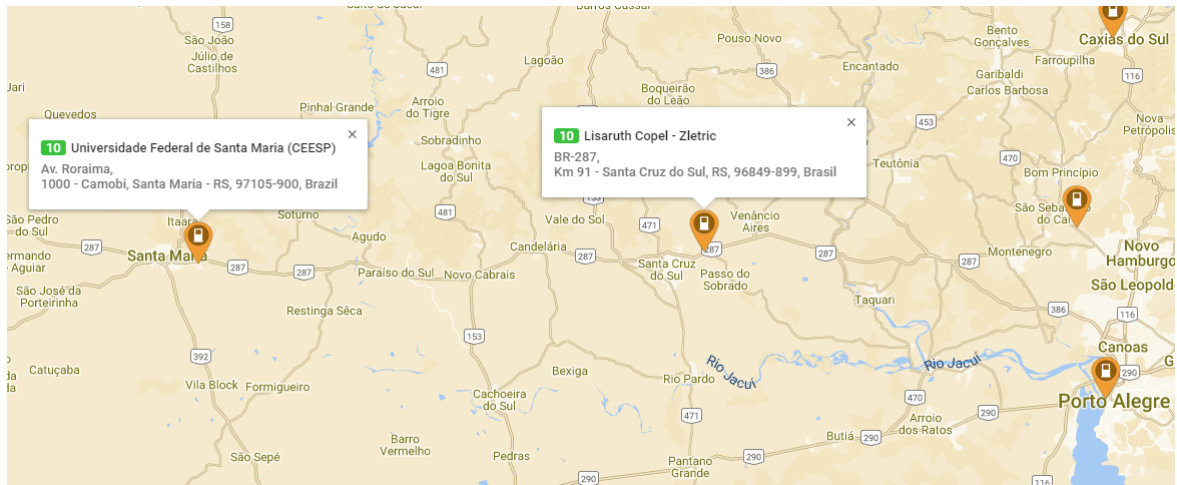
Fonte: (PlugShare, 2022).

O local onde este segundo carregador foi instalado seguiu os seguintes critérios:

- Estar no meio do trajeto que liga Santa Maria a Porto Alegre, como pode ser visto na Figura 45, o carregador ficou posicionado a 145 Km de Santa Maria e de Porto Alegre. Possibilitando que veículos com uma menor autonomia consigam trafegar entre as duas cidades.
- Possuir uma loja de conveniência próximo, pois como o carregamento leva em torno de uma hora, os condutores podem utilizar o banheiro ou fazer uma refeição enquanto aguarda a recarga.
- Possuir cobertura de sinal de dados móveis para o sistema de comunicação da ABB.

Estes critérios fizeram com que este carregador tenha sido o primeiro carregador rápido instalado em rodovias no Rio Grande do Sul.

Figura 45 – Mapa do local dos carregadores rápidos.



Fonte: (PlugShare, 2022).

Diferente da UFSM, este carregador possui uma procura que não segue um padrão de horário, suas recargas ocorrem em momentos oportunos para os usuários se deslocarem entre o centro do estado e o litoral gaúcho.

A procura das recargas em horários de pico resultou na necessidade de desativar o carregador no período das 18h até às 20h, o motivo é que neste horário é ativado o gerador a diesel do restaurante, logo suportar uma recarga com a potência máxima era inviável para o estabelecimento e isso resultou em desativar o carregador neste período.

Para evitar que o carregador fosse desabilitado, e assim, parasse de dar o suporte aos usuários em um horário de bastante procura, surgiu a necessidade de implementação do controle de potência remota do carregador.

4.3 SMART CHARGING PARA CONTROLE DE CARGA

Seguindo o protocolo OCPP, existe a opção de Smart Charging. Esta seção contempla os comandos que podem ser utilizados para influenciar no poder de carga ou corrente de um VE específico. Ao implementar esta funcionalidade, o operador pode controlar a potência de recarga dos carregadores.

O protocolo OCPP possui algumas variações deste comando, entretanto, na aplicação atual será empregado os seguintes controles:

- **Controle absoluto:** Utilizado para aplicar um perfil de controle de carga em todo o carregador ou em conector específico. Este controle fica ativo até ser sobrescrito por um perfil de mesma prioridade ou entrar um perfil com uma prioridade mais alta.
- **Controle recursivo:** Este comando também aplica um perfil de controle, no entanto,

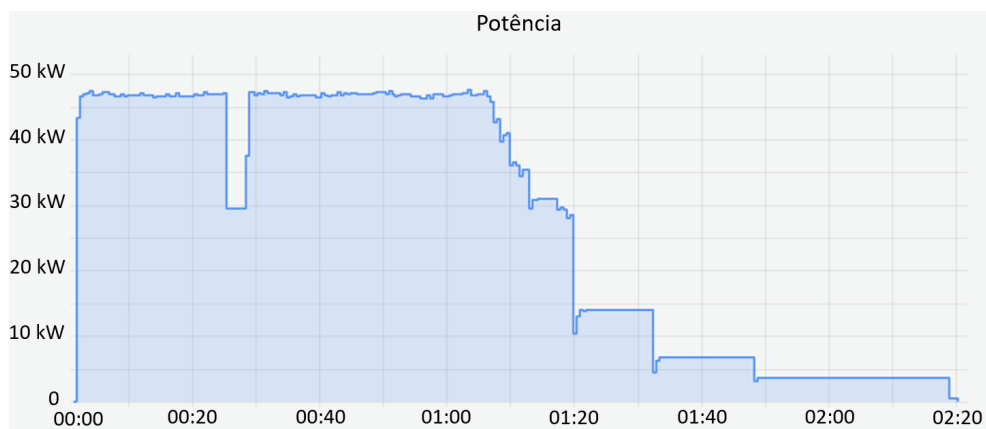
este controle é utilizado para configurar intervalos de potência que irão acontecer recursivamente. Um exemplo deste comando é utilizá-lo no controle de potência nos horários de pico de um carregador.

Ambos os controles possibilitam ao operador o gerenciamento assertivo das recargas. Em casos que o controle de potência precisa ser utilizado com maior frequência, pode-se criar perfis de recarga, facilitando o gerenciamento do eletroposto. Uma ressalva que o modelo do carregador instalado na UFSM e no Lisaruth apenas aceita que o controle de potência seja feito limitando a corrente do carregador, não sendo possível controlar a potência diretamente.

Para compreender como que funciona os perfis podemos utilizar o seguinte exemplo: Um eletroposto pode criar um perfil com limitações de recarga para usuários convencionais, mas caso exista algum outro veículo elétrico com maior prioridade como uma ambulância elétrica, a recarga pode ser disponibilizada utilizando um perfil que não exista limitações na recarga.

A Figura 46 mostra um exemplo de controle absoluto de recarga. Para a extração destes dados foi utilizado o Nissan Leaf com SoC inicial de 4% e o final de 86%.

Figura 46 – Controle absoluto de potência da recarga do Nissan Leaf.

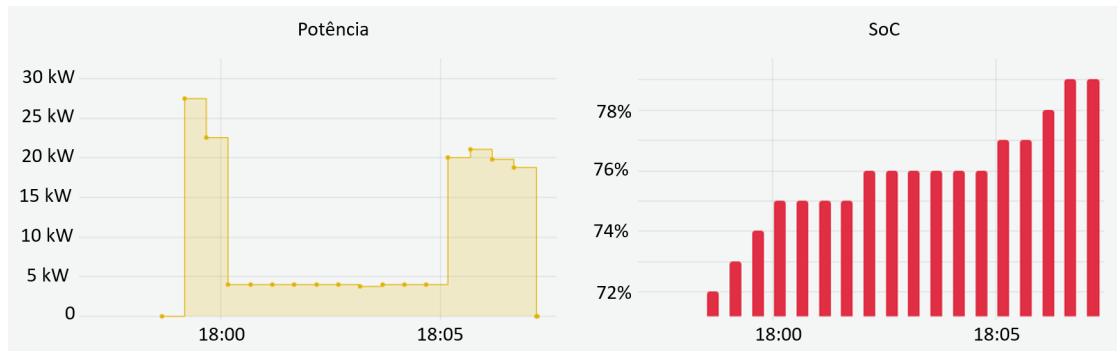


Fonte: O Autor.

O controle absoluto foi ativado em 4 momentos diferentes da recarga, o primeiro momento foi no vale que a Figura 46 exhibe próximo aos 20 minutos da recarga, este perfil foi descartado após alguns minutos. Após 1 hora e 20 minutos de recarga foram colocados 3 perfis diferentes de recarga onde cada um deles sobrescrevia o perfil anterior.

Para o carregador instalado no Lisaruth, o controle absoluto não seria o ideal, pois teria que apagar os perfis fora dos horários de pico para não deixar o carregador com limitações de recarga o tempo todo. Para solucionar este problema foi definido o controle recursivo, funcionando apenas nos horários de pico. Esta solução torna possível o funcionamento da ERVE enquanto os geradores a diesel estão ativos. A Figura 47 mostra um exemplo deste controle.

Figura 47 – Controle recursivo de potência da recarga do Nissan Leaf.



Fonte: O Autor.

Na Figura 47, o controle de potência foi estipulado para iniciar às 18h e ter uma duração de 5 minutos. Esta limitação se repete todos os dias no mesmo horário.

Desta forma, o controle de potência do carregador do Lisaruth é ativado das 18h até às 20h, sendo limitada a corrente em 32 A. A critério comparativo, sem limitação, o carregador opera com uma corrente de 125 A, logo a potência de carregamento sofre uma redução de 4x, não excedendo o limite dos geradores.

4.4 INTEGRAÇÃO COM O RESTANTE DOS CARREGADORES

Após a validação do serviço OCPP nos carregadores da rota do centro do estado, a próxima etapa é expandir este sistema para os outros carregadores. Esta seção irá apresentar resumidamente o restante dos carregadores.

4.4.1 Carregadores da Garage Gigante

Seguindo nos carregadores da fabricante ABB, as outras duas ERVEs que foram instaladas e conectadas ao servidor da UFSM foram do modelo Terra Wallbox de 22 kW. A Figura 48 mostra o modelo já instalado dentro da Garage Gigante em Porto Alegre. Este carregador possui apenas recarga CC e dois conectores, sendo um deles ChAdeMo e o outro CCS2.

Figura 48 – Carregadores Terra Wallbox de 24 kW instalados na Garage Gigante de Porto Alegre.



Fonte: (PlugShare, 2022).

Este estabelecimento foi escolhido por conta do grande número de recargas diárias, o motivo é por se tratar de uma garagem que já possuía a infraestrutura de outros carregadores lentos do modo 3. Com uma média de 160 recargas mensais em cada carregador, este estabelecimento auxiliou na aquisição de dados de diferentes recargas e modelos de veículos.

Diferente dos modelos Terra 54 HV, este carregador possui um controle de potência mais preciso, sendo possível controlar a potência diretamente, entretanto, ele também possui o controle por corrente.

4.4.2 Carregadores da Copel para CarSharing

A Companhia Paranaense de Energia (Copel), parceira direta do projeto de P&D, contém algumas ERVEs que foram integradas ao Framework da UFSM. Ao todo são 4 carregadores CA trifásicos da Etrél, modelo INCH Pro de 22 kW. A Figura 49 exibe a infraestrutura construída dentro da COPEL para atender o compartilhamento de veículos elétricos.

Figura 49 – CarSharing da Copel energia.



Fonte: O Autor.

Este grupo de carregadores trouxeram algumas dificuldades na integração, mesmo utilizando o protocolo OCPP, alguns dados que continham nas mensagens fugiam dos esquemáticos do protocolo, isso acabou resultando na necessidade de criar exceções na comunicação com estes dispositivos, caso contrário, a comunicação era interrompida.

4.5 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o estudo de caso para validação e análise da metodologia proposta. Foi apresentado a integração real com carregadores de veículos elétricos, onde o primeiro passo foi estabelecer uma conexão com um carregador CA, para posteriormente entrar no estágio de homologação do servidor OCPP. Nesta etapa, a ABB realizou os testes unitários dos comandos OCPP, só após a homologação do servidor que é possível realizar a integração com os carregadores CC.

Também foi apresentado a diferença entre os carregadores que foram utilizados na construção da primeira eletrovia do centro do estado. Como cada carregador está presente em um parceiro diferente, foi necessário a implementação do controle de corrente para diminuir a potência da recarga em momentos onde não seria possível manter o carregador operando.

Embora o controle de potência tenha sido aplicado apenas para controle em horários de pico, sua utilização pode ser enriquecida ao conectar o servidor com outros agentes que contemplam o Framework.

Sob a ótica de gerenciamento, o servidor OCPP conta com 9 carregadores reais funcionando 24/7. Para um melhor controle das ERVEs foi criado um bot que envia mensagens para o smartphone do operador toda vez que o carregador apresenta um problema. Estes carregadores possuem um número médio de 600 recargas mensais, onde a maior parte está concentrada nos carregadores instalados na Garage Gigante.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para o desenvolvimento de um *framework* para o gerenciamento inteligente e controle de carregadores instalados na eletrovia e no *CarSharing* da Copel. Buscou-se levantar os protocolos de comunicação que possibilitariam esta integração, tal como, os passos necessários suportar o maior número de operações nos carregadores, possibilitando assim, um controle mais assertivo por parte dos operadores das ERVEs.

O desenvolvimento de um ambiente simulado não só ajudou a entender o protocolo OCPP quanto também possibilitou identificar pontos que deveriam ser tratados antes de avançar com o sistema. A flexibilidade nas mensagens de carregamento e as particularidades da comunicação via websocket foram os pontos chaves para a criação do módulo de tratamento de dados e a programação em *threads*. Desta forma, a arquitetura do servidor se tornou robusta para suportar múltiplos carregadores conectados simultaneamente.

Entretanto, ao implementar o sistema nos carregadores físicos vieram novos desafios de operação em tempo real e suporte ao usuário, pontos que não tinham sido explorados no ambiente simulado. Logo, o carregador rápido instalado na UFSM colaborou com pontos importantes que foram criados para melhorar a experiência do usuário, enquanto os demais carregadores instalados nos diferentes clientes também colaboraram com a robustez do trabalho final.

Finalmente, todo o desenvolvimento foi agregado a outros estudos que possibilitaram as tomadas de decisões tendo como base os dados coletados diretamente das ERVEs. Tudo isto criou diferentes cenários de operação que foram utilizados para controle de demanda ou para o agendamento das recargas por usuários dos VEs.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de desenvolvimento para trabalhos futuros, propõe-se alguns tópicos:

- Desenvolver um módulo de gerenciamento autônomo que colete os dados e tome ações de controle com o objetivo de prestar o suporte à usuários.
- Desenvolvimento do Core OCPP utilizando a versão 2.0.1.
- Integração da ISO 15118 para compor uma aplicação onde a comunicação pode ser estabelecida diretamente pelo VE, não sendo necessária a ação humana no carregamento inteligente.

- Desenvolvimento de um cliente simulado que emule um carregador V2G para conversão de carregadores Modbus para OCPP.

REFERÊNCIAS

- ABB. **EV Charging Solutions**. 2022. Acesso em: 28 de ago. 2022. Disponível em: <<https://new.abb.com/ev-charging/>>.
- ABVE. **100 mil eletrificados já circulam no Brasil**. 2022. Acesso em: 28 de dez. 2022. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/100-mil-eletrificados-circulam-no-brasil/>>.
- Amazon Web Services. **O que é API RESTful?** 2022. Acesso em: 22 de ago. 2022. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/restful-api/>>.
- BOX, D. et al. **Simple object access protocol (SOAP) 1.1**. 2000.
- CHAdEMO. **CHAdEMO Associations**. 2022. Acesso em: 15 de jul. 2022. Disponível em: <<https://www.chademo.com/>>.
- DEVENDRA, D. et al. Electric vehicle charging station using open charge point protocol (ocpp) and onem2m platform for enhanced functionality. In: IEEE. **TENCON 2021-2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON)**. [S.l.], 2021. p. 01–05.
- ECO Electric. **GB/T Male Plug for DC EV Charging**. 2022. Acesso em: 23 de dez. 2022. Disponível em: <<https://www.easyevcharger.com/product/gb-t-male-plug-for-dc-ev-charging/>>.
- ELAAD, N. **EV Related Protocol Study**. 2016.
- EV Charge +. **EV Charging Accessories**. 2022. Acesso em: 2 de ago. 2022. Disponível em: <<https://evchargeplus.com/>>.
- FALVO, M. C. et al. Ev charging stations and modes: International standards. In: IEEE. **2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion**. [S.l.], 2014. p. 1134–1139.
- FERNANDEZ, G. S. et al. Optimal dynamic scheduling of electric vehicles in a parking lot using particle swarm optimization and shuffled frog leaping algorithm. **Energies**, MDPI, v. 13, n. 23, p. 6384, 2020.
- FETTE, I.; MELNIKOV, A. **The websocket protocol**. [S.l.], 2011.
- Grafana Labs. **Introduction to Grafana**. 2022. Acesso em: 15 de ago. 2022. Disponível em: <<https://grafana.com/>>.
- GRASEL, B. et al. Integration of a v2g charging station in a smart prosumer household via a cloud-based energy management system considering tou tariffs. In: IEEE. **2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)**. [S.l.], 2022. p. 1–5.
- HAN, J. et al. Survey on nosql database. In: **2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 363–366.

HSAINI, S.; GHOGHO, M.; CHARAF, M. E. H. An ocpp-based approach for electric vehicle charging management. **Energies**, MDPI, v. 15, n. 18, p. 6735, 2022.

IEA, E. Outlook 2022. **International Energy Agency (IEA)**, 2022.

JONES, M. B. The emerging json-based identity protocol suite. In: **W3C workshop on identity in the browser**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–3.

LONGO, M. et al. Recharge stations: A review. In: IEEE. **2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)**. [S.l.], 2016. p. 1–8.

MARTINS, H. et al. Multi-agent framework for smart management of electric vehicle charging stations (evcs) considering a smart charging scheduling, smart contracts and data validation by ocpp. In: **CIREP Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems**. [S.l.: s.n.], 2022. v. 2022, p. 691–695.

MENON, L. M.; NITHIN, S. Development of a communication simulator for electric vehicle charging based on gb/t. In: IEEE. **2021 6th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)**. [S.l.], 2021. p. 177–183.

MongoDB. **Deploy a multi-cloud database**. 2022. Acesso em: 2 de ago. 2022. Disponível em: <<https://www.mongodb.com/>>.

OCA. **Open Charge Alliance**. 2022. Acesso em: 2 de ago. 2022. Disponível em: <<https://www.openchargealliance.org/>>.

ORCIONI, S. et al. Electric vehicles charging reservation based on ocpp. In: IEEE. **2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. [S.l.], 2018. p. 1–6.

PlugShare. **EV Charging Solutions**. 2022. Acesso em: 2 de ago. 2022. Disponível em: <<https://www.plugshare.com/br>>.

PNME. **1º Anuário brasileiro da mobilidade elétrica**. Brasília e Rio de Janeiro, 2021. PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA. Acesso em: 03 de aug. 2022. Disponível em: <<https://www.pnme.org.br/biblioteca/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica/>>.

QUÍLEZ, M. G. et al. Modelling, analysis and performance evaluation of power conversion unit in g2v/v2g applicationa review. **Energies**, MDPI, v. 11, n. 5, p. 1082, 2018.

RAVINDRAN, S. et al. Ocpp based electric vehicle supply equipment and its user interface for ac charging in indian scenario. In: IEEE. **2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON)**. [S.l.], 2020. p. 1–6.

RINARD, M. Analysis of multithreaded programs. In: SPRINGER. **International Static Analysis Symposium**. [S.l.], 2001. p. 1–19.

RODRIGUES, M. do C. et al. Conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica para recarga de baterias: Uma visão geral. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 19, n. 2, p. 193–207, 2014.

RUGGIERI, R. et al. Electric mobility in a smart city: European overview. **Energies**, MDPI, v. 14, n. 2, p. 315, 2021.

Shanghai Mida. **Type 1 charging plug**. 2022. Acesso em: 02 de ago. 2022. Disponível em: <<https://www.midacable.com/>>.

STD, S. J1772_201710,. **SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler**, SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, 2017.

Tesla. **Opening the North American Charging Standard**. 2022. Acesso em: 28 de ago. 2022. Disponível em: <<https://www.tesla.com/blog/opening-north-american-charging-standard>>.

ZHANG, H.; CHEN, W.; HUANG, W. Times modelling of transport sector in china and usa: Comparisons from a decarbonization perspective. **Applied Energy**, Elsevier, v. 162, p. 1505–1514, 2016.

ZHANG, L.; KEKATOS, V.; GIANNAKIS, G. B. Scalable electric vehicle charging protocols. **IEEE Transactions on Power Systems**, IEEE, v. 32, n. 2, p. 1451–1462, 2016.