

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

ALCEU ROSA NETO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OCPP
NO GERENCIAMENTO DE CARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.**

CAMPINAS

2021

ALCEU ROSA NETO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OCPP
NO GERENCIAMENTO DE CARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Área de Concentração. Gestão de Redes e Serviços

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lia Toledo Moreira Mota

PUC-CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

629.2293
R788a

Rosa Neto, Alceu

Análise de desempenho do protocolo de comunicação OCPP no gerenciamento de carga de veículos elétricos / Alceu Rosa Neto. - Campinas: PUC-Campinas, 2021.

110 f.: il.

Orientador: Lia Toledo Moreira Mota.

Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Veículos elétricos. 2. Recursos energéticos. 3. Engenharia elétrica. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.


CDD - 23. ed. 629.2293

ALCEU ROSA NETO


**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO DE
COMUNICAÇÃO OCPP NO GERENCIAMENTO DE
CARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias.
Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviços
Orientador (a): Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota.

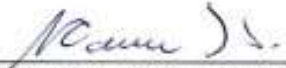
Dissertação defendida e aprovada em 29 de junho de 2021 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Maria Lavorato de Oliveira
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da bolsa de estudos gentilmente concedida pela PUC-Campinas.

À PUC-Campinas pela infraestrutura concedida e fornecimento dos equipamentos para realização dos ensaios.

À minha orientadora Professora Doutora. Lia Toledo Moreira Mota pela disposição, paciência e dedicação na condução deste trabalho.

À Jane, obrigado por escolher trilhar este caminho comigo.

E à minha mãe. “Olhe só aonde nós chegamos.”

RESUMO

ROSA NETO, Alceu. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OCPP NO GERENCIAMENTO DE CARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

O mundo está enfrentando um período de transformação acelerada, muito devido às mudanças climáticas ocasionadas pelo efeito estufa. Nesse contexto, o setor de energia busca alternativas em recursos renováveis livres de emissões, conjuntamente com a eletrificação do transporte. Neste contexto, implantação de carros elétricos tem crescido, rapidamente, nos últimos dez anos, com o volume global passando de 5 milhões, em 2019, aumento de 63% em relação ao ano anterior. Quanto ao Brasil, observou-se um crescimento do número de emplacamentos de veículos elétricos nos últimos anos, de, aproximadamente, 500 veículos em 2013 para quase 12000 no ano de 2019. O gerenciamento dessa demanda inclui a alteração da cobrança de carregamento desses veículos no pico de consumo de eletricidade existente (horário de pico ou de ponta), evitando a criação de novos picos e alinhando a cobrança desta carga à geração de energia renovável, por exemplo, cobrança diurna no local de trabalho usando energia solar. É neste complexo cenário que surge o OCPP (Open Charge Point Protocol), um protocolo de comunicação aberto entre o eletroposto, e a central de gerenciamento, responsável por gerenciar as rotinas de tarifação e controle de demanda dos diversos carregadores em campo. O objetivo deste trabalho é compreender e analisar o comportamento do protocolo OCPP em um sistema de carga de veículos elétricos, considerando diferentes tecnologias de comunicação para a transmissão de dados. Foi possível, a partir de uma infraestrutura virtualizada e ferramentais open-source, estabelecer uma plataforma para analisar o protocolo OCPP submetido a variações de parâmetros de qualidade de serviço, a fim de simular diferentes tipos de conectividade. Esse protocolo, mesmo sendo conhecido no mercado, ainda não foi amplamente estudado do ponto de vista acadêmico. Assim, este trabalho contribuiu, também, com o desenvolvimento de uma plataforma de simulação que pode ser utilizada em estudos futuros, possibilitando que essa área possa ser melhor explorada.

Palavras Chaves: VGI, OCPP, V2G, Veículos Elétricos, Sistema de Carregamento

ABSTRACT

ROSA NETO, Alceu. Performance analysis of the OCPP communication protocol in electrical vehicle load management. Masters Dissertation. Postgraduate Program in Telecommunications Network Management, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2020.

The world is facing accelerated transformation time, largely due to climate change caused by the greenhouse effect. In this context, the energy sector looks for alternatives in renewable resources, free of emissions, together with electrification of transport. In this context, the deployment of electric cars has grown fast over the past ten years, with the global volume rising from 5 million in 2019, an increase of 63% over the previous year. In Brazil, there has been an increase electric vehicle license number in recent years, from approximately 500 vehicles in 2013 to almost 12,000 in 2019. The management of this demand includes changing the charging of these vehicles at the peak of existing electricity consumption (peak or peak hours), avoiding the creation of new peaks, and aligning the charging of this charge with the generation of renewable energy, for example, daytime charging in the workplace using solar energy. It is in this complex scenario that the OCPP (Open Charge Point Protocol) emerges, an open communication protocol between the electro charge, and the management center, responsible for managing the charging and demand control routines of the various chargers in the field. The objective of this work was to understand and analyze the behavior of the OCPP protocol in an electric vehicle charging system, considering different communication technologies for data transmission. It was possible, from a virtualized infrastructure and open-source tools, to establish a platform to analyze the OCPP protocol submitted to variations in quality-of-service parameters, in order to simulate different types of connectivity. This protocol, even though it is known in the market, has not been widely studied from an academic point of view. Thus, this work also contributed to the development of a simulation platform that can be used in future studies, enabling this area to be better explored academically.

Keywords: VGI, V2G OCPP, Smart Charging, Load Management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de veículos elétricos por região geoeconômica	13
Figura 2 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil	14
Figura 3 - Formação de picos de demanda.	15
Figura 4 - Cenário dos sistemas de carga de veículos elétricos e seus protocolos	16
Figura 5 - Atores do sistema de carregamento baseado em OCPP.....	17
Figura 6 - Visão do futuro das redes elétricas inteligentes.	20
Figura 7 - Principais impulsionadores da evolução dos sistemas de energia.	21
Figura 8 - A eletrificação dos transportes como fator importante nas redes inteligentes	22
Figura 9 - IoE – Internet of Energy.	24
Figura 10 - Visão e abrangência da Internet da Energia.	24
Figura 11 - Visão da iteração do veículo com a rede elétrica.	26
Figura 12 - Participação dos veículos elétricos no mercado global por região geoeconômica.	28
Figura 13 - Participação dos veículos elétricos no mercado brasileiro.	28
Figura 14 - Mobilidade integrada e potenciais de negócio.....	30
Figura 15 - Diagrama esquemático da infraestrutura de carregamento do VE.	31
Figura 16 - Infraestrutura de energia no carregamento de EV.	32
Figura 17 - Classificação das estratégias de controle utilizadas no sistema de carga.....	34
Figura 18 - Rede de comunicação para carregamento de EV.....	35
Figura 19 - Cenário de entes agrupados por controle local, roaming e <i>smart charging</i>	36
Figura 20 - Visão das versões OCPP.	42
Figura 21 - Caso de uso de configuração da eletrobomba	44
Figura 22 - Telas do Aplicativo para reserva de eletropostos.	46
Figura 23 - Padrões de interface de veículos elétricos.	47
Figura 24 - Infraestrutura e componentes de segurança em uma rede V2G	48
Figura 25 - Diagrama de integração SecCharge em uma estação de carregamento.	50
Figura 26 - O cenário de carregamento do veículo elétrico.	51
Figura 27 - Foco da investigação do trabalho.	52
Figura 28 Cenários de teste	53
Figura 29 - Descrição dos componentes físico-lógicos da infraestrutura	54
Figura 30 - Descrição dos componentes para emulação da infraestrutura	55
Figura 31 - Descrição do ambiente físico da infraestrutura	56
Figura 32 - Descrição do ambiente físico da infraestrutura	56
Figura 33 - Detalhamento dos dados de criação das máquinas virtuais	57
Figura 34 - Detalhamento da arquitetura de rede à containers	59
Figura 35 - Scripts Dockerfile para criação das camadas de infraestrutura e OCPP	60
Figura 36 - Scripts para criação dos containers QoS, CPO e EVSE	61
Figura 37 - Relação entre as variáveis de ambientes do container OCPP e a o Start.sh	63
Figura 38 - Arquitetura de um sistema típico com OCPP	65
Figura 39 - Blocos funcionais de uma Eletrobomba e do Subconjunto OCPP	66
Figura 40 - Máquina de estados das transações do algoritmo EVSE.....	69
Figura 41 - Blocos funcionais de uma Eletrobomba e do Subconjunto OCPP	71
Figura 42 - Máquina de estados das transações do algoritmo CPO	72
Figura 43 - Diagrama da estrutura do arranjo experimental	75
Figura 44 - Descrição do Script de execução dos ensaios de múltiplos EVSEs	76
Figura 45 - Diagrama da estrutura da pesquisa, das fases de desenvolvimento ao arranjo experimental	77
Figura 46 - Tela do ensaio de infraestrutura baseado em VM.....	79
Figura 47 - Gráfico comparativo de RTT do ensaio de infraestrutura baseado em VM.	79
Figura 48 - Gráfico comparativo das vazões do ensaio de infraestrutura baseado em VM.	81
Figura 49 - Tela do ensaio de infraestrutura baseado em Containers.....	82
Figura 50 - Gráfico comparativo de RTT do ensaio de infra baseado em Containers.....	83
Figura 51 - Gráfico comparativo de Vazão do ensaio de infraestrutura baseado em Containers.	85

Figura 52- Gráfico Comparativo de RTT entre tecnologias de virtualização sem influência do QoS.	86
Figura 53- Gráfico Comparativo das diferenças de RTT entre tecnologias de virtualização com influência do QoS.	87
Figura 54- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário baseado em Máquinas Virtuais.	88
Figura 55- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP utilizando Containers. ...	89
Figura 56- Gráfico Comparativo de RTT entre tecnologias de virtualização sem influência do QoS.	90
Figura 57- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP entre tecnologias de virtualização com influência do QoS.	91
Figura 58- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 10 containers EVSE.	92
Figura 59- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 25 containers EVSE.	93
Figura 60- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 50 containers EVSE.	94
Figura 61- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos containers EVSE.	95
Figura 62- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos EVSEs.	95
Figura 63- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos EVSE, desconsiderando cenário de 50 containers.	96
Figura 64- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (AMPS), múltiplos EVSEs e desconsiderando cenário de 50 containers. .	97
Figura 65- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (4G), múltiplos containers EVSE e desconsiderando cenário de 50 containers.	98
Figura 66- Gráfico de repetibilidade de valores com alta dispersão em ensaio de 50 containers.	99
Figura 67- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (GPRS) e com múltiplos EVSEs.	99
Figura 68- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (3G) e com múltiplos EVSEs.	101
Figura 69- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (Vsat) e com múltiplos containers EVSE.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da infraestrutura de carregamento de VE	32
Tabela 2 – Os protocolos de roaming na Europa	36
Tabela 3 – Descrição dos principais protocolos de integração	38
Tabela 4 – Propriedades dos principais protocolos de integração	40
Tabela 5 – Blocos funcionais do OCPP2.0.1	43
Tabela 6 - Ataques e impacto no contexto OCPP	49
Tabela 7 – Descrição e uso do script slow.sh	64
Tabela 8 – Resumo dos comandos de teste da Infraestrutura	74
Tabela 9 – RTT (Round Time Trip) da infraestrutura baseada em VM	79
Tabela 10 –Iperf da infraestrutura baseada em VM	80
Tabela 11 – RTT da infraestrutura baseada em Containers	82
Tabela 12 –Iperf da infraestrutura baseada em Containers	83
Tabela 13 – Resumo dos resultados do tempo de comunicação OCPP utilizando VM.....	87
Tabela 14 – Resumo dos resultados do tempo de comunicação OCPP utilizando Containers	88
Tabela 15 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 10 containers EVSE (Cenário 3).....	91
Tabela 16 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 25 containers EVSE (Cenário 3).....	92
Tabela 17 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 50 containers EVSE (Cenário 3).....	93
Tabela 18 – Resumo dos resultados comparativos do cenário 3.....	103

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	17
1.2	Organização do trabalho	18
2	A REDE ELÉTRICA INTELIGENTE	19
2.1	Visão do setor elétrico	22
2.2	IoE – <i>Internet of Energy</i>	23
2.3	Integração Veículo com a Rede	25
3	ELETRIFICAÇÃO NOS TRANSPORTES	27
3.1	Mercado de Veículos Elétricos e Híbridos	27
3.2	Modelos de Negócios relacionados a Eletromobilidade	29
3.3	Infraestrutura de Carregamento	31
3.4	Os protocolos de comunicação V2G.....	35
4	OCPP - OPEN CHARGE POINT PROTOCOL	41
4.1	Avaliação do protocolo no ambiente de redes inteligentes.....	44
4.2	Implementações	45
4.3	Aspectos de Segurança	48
5	MATERIAIS E MÉTODOS	51
5.1	A Infraestrutura	54
5.1.1	A Máquina virtual.....	56
5.1.2	O Container	58
5.1.3	Emulação da qualidade de serviço	63
5.2	O Algoritmo de Simulação do Sistema de Carga.....	64
5.2.1	O EVSE	66
5.2.2	O CPO	70
5.3	Arranjo Experimental e Simulações	72
6	RESULTADOS	78
6.1	Cenário 1 - Infraestrutura	78
6.2	Cenário 2 - CPO se comunicando com 1 EVSE	87
6.3	Cenário 3 - CPO se comunicando com vários EVSEs.....	91
7	CONCLUSÕES	104
	BIBLIOGRAFIA	106

LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

ADSL	<i>Assymetrical Digital Subscriber Line</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
API	<i>Application Programming Interface</i>
B2B	<i>Business-to-Business</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRP	<i>Balance Responsible Party</i>
CA	Autoridade de Certificação
CCS	Sistema de Carregamento Combinado
CEC	<i>China Electricity Council</i>
CPO	<i>Charge Point Operator</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DR	<i>Demand Response</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSM	<i>Demand Side Management</i>
DSO	<i>Distribution System Operator</i>
eMSP	<i>E-mobility service provider</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EV	<i>Electric vehicle</i>
EVI	<i>Electric Vehicle Initiative</i>
EVSE	<i>Electrical Vehicle Supply Equipment</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HTB	<i>Hierarchical Token Bucket</i>
ICT	<i>Information and Communication Technologies</i>
IoE	<i>Internet of Energy</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
NFC	<i>Near Field Comm</i>
OCA	<i>Open Charge Alliance</i>

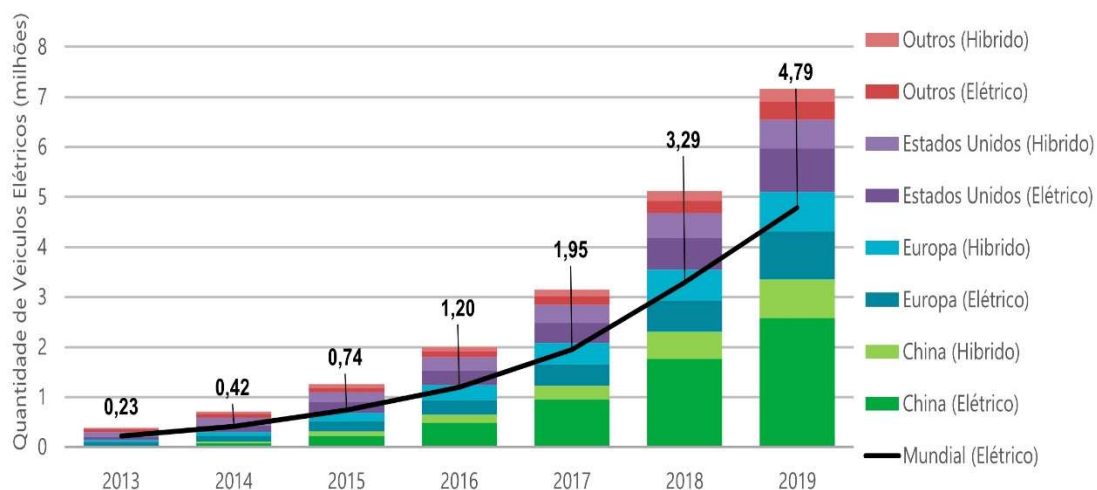
OCPP	<i>Open Charge Point Protocol</i>
OCPP	<i>Open Charge Point Protocol</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PHEV	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RCD	Dispositivo de Proteção de Corrente Residual
RTT	<i>Round Time Trip</i>
SECC	Controlador de Comunicação de Equipamento de Fornecimento
TSO	<i>Transmission System Operator</i>
TSO	<i>Transmission System Operator</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
V2G	<i>Vehicle to grid</i>
VGI	<i>Vehicle to Grid Integration</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>

1 INTRODUÇÃO

O mundo está enfrentando um período de transformação acelerada, muito devido às mudanças climáticas ocasionadas pelo efeito estufa. As emissões dos gases causadores desse efeito são provenientes de vários setores: energia, transporte, agricultura e manufatura. Nesse contexto, o setor de energia busca alternativas em recursos renováveis livres de emissões, conjuntamente com a eletrificação do transporte, visando a redução dessas emissões. Sendo assim, à integração de energia renovável distribuída, a implantação de redes elétricas inteligentes e o aumento da eletrificação dos transportes nos mais diversos modais serão cada vez mais comuns (MARTINENAS, 2017).

A implantação de carros elétricos tem crescido, rapidamente, nos últimos dez anos, com o volume global passando de 5 milhões, em 2019, aumento de 63% em relação ao ano anterior. Cerca de 45% dos carros elétricos em circulação, em 2019, estavam na China, com um volume de 3,3 milhões. Comparativamente, a Europa representava 24% da frota global e os Estados Unidos 22% nesse mesmo ano (IEA, 2020).

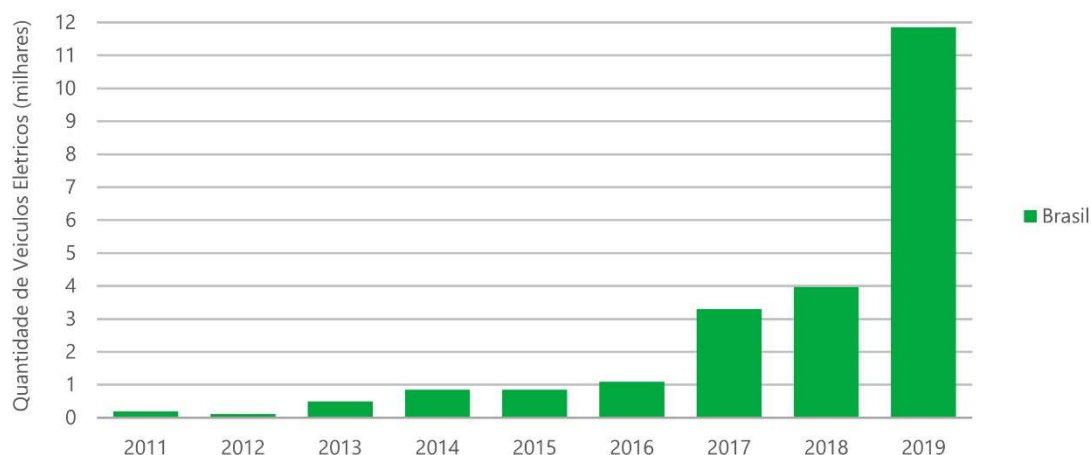
O volume considerado leva em conta os veículos elétricos a bateria ou BEV (*Battery Electric Vehicle*) e os veículos híbridos recarregáveis na rede elétrica ou PHEV (*Plug-In Hybrid Electric Vehicle*), sendo que a quantidade global de veículos, considerando somente os veículos elétricos a bateria, pode ser vista na figura 1.

Figura 1 - Quantidade de veículos elétricos por região geoeconômica

Fonte: Adaptado de IEA (2020)

Os BEVs são veículos que usam somente baterias como fonte de energia. São “abastecidos” com eletricidade por uma fonte externa, em geral, a rede elétrica. Já os PHEV usam duas ou mais tecnologias para se movimentar, como motor de combustão interna e elétrico, por exemplo. No caso específico dos PHEVs, a bateria embutida pode ser carregada pela rede elétrica, e não somente pelo motor de combustão interna, como é feito nos híbridos convencionais (SALDAÑA, MARTIN, *et al.*, 2019).

Quanto ao Brasil, embora modesto, pode-se observar um crescimento do número de emplacamentos de veículos elétricos nos últimos anos. A figura 2 mostra o crescimento de, aproximadamente, 500 veículos em 2013 para 3900 unidades, em 2018, e quase 12000 no ano de 2019 (ANFAVEA, 2020) .

Figura 2 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil

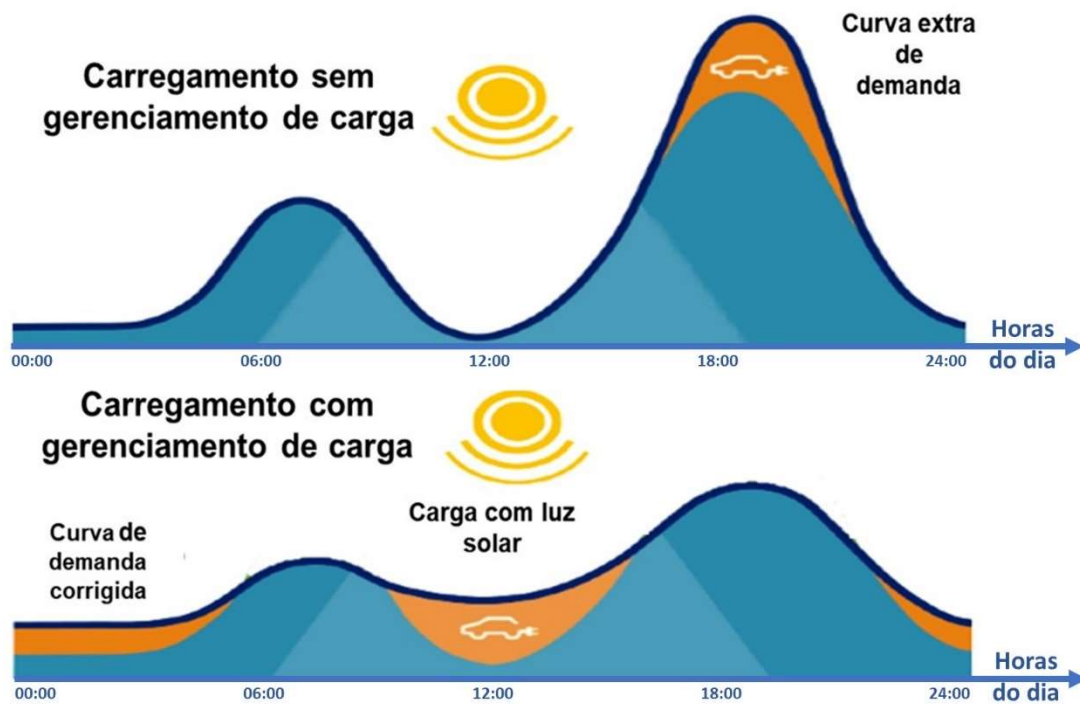
Fonte: Autor com dados de ANFAVEA (2020)

Porém, estima-se que a participação do mercado brasileiro de veículos elétricos poderá ser somente de 4,2% a 8% (149 mil veículos por ano). Isso dado ao custo elevado dos veículos no mercado, a baixa probabilidade de redução nos preços, e a falta de incentivos. (FGV, 2017)

Mesmo neste cenário, deve-se considerar uma demanda crescente de energia, que deve ser gerenciada para minimizar os investimentos na rede elétrica, por exemplo, com atualizações na infraestrutura. O gerenciamento dessa demanda inclui a alteração da cobrança de carregamento desses veículos no pico de consumo de energia existente (horário de pico ou de ponta), evitando a criação de novos picos e alinhando a cobrança desta carga à geração de energia renovável (por exemplo, cobrança diurna no local de trabalho usando energia solar) (NEAIMEH e ANDERSEN, 2020).

A figura 3 ilustra a curva de carga diária de uma residência, destacando as situações de carregamento de veículo elétrico sem e com gerenciamento de carga (AE-CITY-LAB, 2017).

Figura 3 - Formação de picos de demanda.

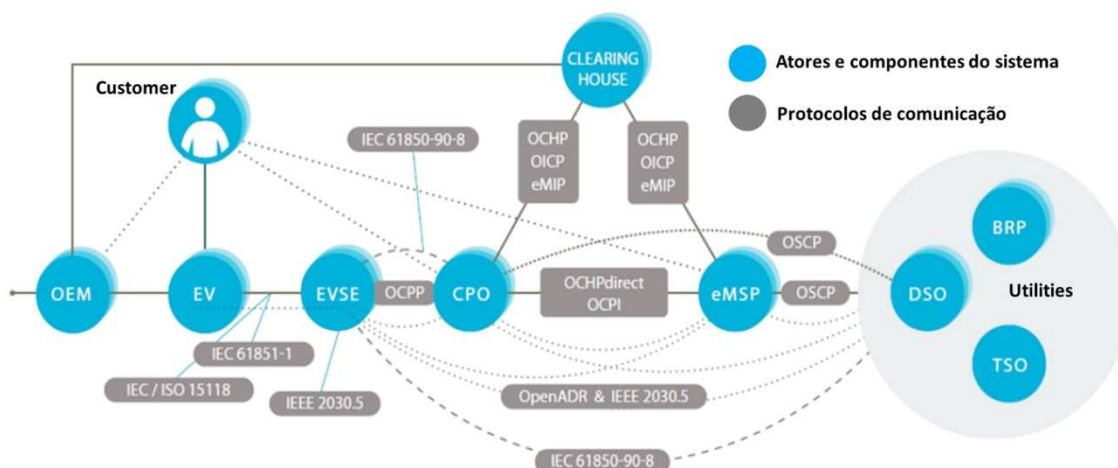


Fonte: Adaptado de AE-City-Lab, 2017

Atualmente, as instalações de carregamento são limitadas no aspecto de comunicação e de cobrança, pois não possuem um padrão tecnológico unificado entre os diversos fornecedores de equipamentos, como um protocolo de comunicação único entre estações de carga e os sistemas de gerenciamento, o que dificulta a popularização da tecnologia (ZHAO e YOU, 2017).

A figura 4 exemplifica a diversidade de protocolos e entidades relacionadas ao processo de carga de veículos elétricos e sua consequente complexidade (ELAADNL, 2018).

Figura 4 - Cenário dos sistemas de carga de veículos elétricos e seus protocolos



Fonte: Adaptado de ElaadNL, (2018)

Descrevendo os atores em azul, tem-se: *customer* que é o cliente privado ou comercial de EV (*Electric Vehicle* – Veículo Elétrico) e sistemas de energia associados, EV é o veículo elétrico em si, OEM (*Original Equipment Manufacturer*) representa a indústria automotiva, EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*) é o ponto de carregamento, CPO (*Charge Point Operator*) é o operador de ponto de cobrança, *Clearing House* é a câmara de compensação da tarifação entre os operadores, eMSP (*E-mobility service provider*) é o provedor de serviços de mobilidade, o DSO (*Distribution System Operator*) é o operador de sistema de distribuição, BRP (*Balance Responsible Party*) é o ente responsável pelo saldo e o TSO (*Transmission System Operator*) é o operador do sistema de transmissão (ELAADNL, 2018).

É neste complexo cenário que surge o OCPP (*Open Charge Point Protocol*), um protocolo de comunicação aberto entre o EVSE, comumente chamado de estação de carga ou eletroposto, e a CPO ou também conhecida como central de gerenciamento.

A figura 5 apresenta a relação existente entre a central de gerenciamento, com fabricantes diferentes de estações de carregamento e a interação com os motoristas nos modos de pagamento disponibilizados pelo protocolo. Nota-se que o protocolo permite a substituição de estações de carga de diferentes fabricantes, permitindo manter a operabilidade do sistema.

Figura 5 - Atores do sistema de carregamento baseado em OCPP



Fonte: Autor(2020)

O objetivo do OCPP é capacitar a base de cobrança de carregamento do veículo elétrico, incorporando estações de carregamento de diferentes fornecedores com estruturas de gerenciamento, podendo escolher livremente os fornecedores da estação de carregamento e o fornecedor de serviço de gerenciamento e controle de TI (Tecnologia da Informação) mais adequado (MARTINENAS, 2017).

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de redes em sistemas de gerenciamento de carga de veículos elétricos baseados em protocolo de padrão aberto, especificamente o protocolo OCPP, quando submetido a variações dos parâmetros de qualidade de serviço.

Nesse contexto, propõe-se injetar variações em parâmetros de desempenho típicos de uma rede de comunicação de dados, trafegando o protocolo OCPP. Esse protocolo será viabilizado através de um conjunto de algoritmos, simulando um sistema de carga de veículos elétricos em uma em uma infraestrutura emulada por elementos de virtualização.

Esta implementação será dividida em 2 fases:

- (I) Uma infraestrutura composta por um ente representando a eletrobomba (EVSE) e outro a central de gerenciamento (CPO),

- (II) Um algoritmo para a simulação eletrobomba (EVSE) e a central de gerenciamento (CPO).

Os ensaios serão realizados em ambas as fases, simulando casos de uso já documentados na norma (OCA, 2020).

1.2 Organização do trabalho

O Capítulo 2 apresenta alguns aspectos das redes elétricas inteligentes como a visão do setor elétrico e ações governamentais para fomentar os serviços de carregamento, a convergência da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) aplicadas no setor, denominada Internet da Energia (IoE) e a integração dos veículos elétricos com a rede elétrica ou *Vehicle to Grid Integration* (VGI).

No Capítulo 3, discute-se sobre a eletrificação nos transportes, trazendo aspectos do mercado de veículos elétricos e híbridos, os novos modelos de negócio relacionados com este mercado e uma introdução sobre os protocolos de comunicação relacionados ao segmento de carga de veículos.

O capítulo 4 descreve o protocolo OCPP, iniciando-se por uma revisão da literatura e segue-se com a descrição da documentação técnica e sua implementação.

O capítulo 5 descreve os materiais e métodos utilizados neste trabalho, descrevendo as fases de desenvolvimento e os ensaios realizados.

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados.

Finalmente, o capítulo 7 aborda as principais conclusões deste trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2 A REDE ELÉTRICA INTELIGENTE

O mundo está enfrentando um período de mudanças climáticas, principalmente causadas pelo efeito estufa. As emissões dos gases causadores desse efeito são provenientes de vários setores: energia, transporte, agricultura e manufatura (MARTINENAS, 2017). Junta-se aos desafios relacionados a questões ambientais, uma crescente demanda por eletricidade nas últimas décadas, principalmente devido ao crescimento das economias emergentes e à constante busca pela melhoria da qualidade de vida, proporcionada, principalmente, por novos processos tecnológicos (DRANKA e FERREIRA, 2020).

Nesse contexto, o setor de energia busca alternativas em recursos renováveis, visando a redução dessas emissões e a garantia do suprimento da demanda, ocasionando a introdução de recursos de energia renovável como placas fotovoltaicas em telhados, impulsionando o crescimento da geração distribuída. No entanto, a descentralização da geração e o aumento da demanda promovem novos desafios ao sistema de energia, como gerenciamento da intermitência da geração de fontes renováveis (como a solar e a eólica), e o equilíbrio entre geração e consumo na rede elétrica (MARTINENAS, 2017).

A implantação das redes inteligentes de energia é baseada no fato de que toda a rede de energia esteja interconectada, não apenas com cabos de energia, mas também com *links* de comunicação, introduzindo tecnologias para coletar informações e coordenar as ações em todo o ecossistema de energia (MARTINENAS, 2017). Essa atualização permite que grandes cargas anteriormente não controladas participem da manutenção da estabilidade da rede, fornecendo gerenciamento do lado da demanda (DSM – Demand Side Management) a fim de prover resposta à demanda (DR – Demand Response), a partir dos recursos de distribuição de energia (DRANKA e FERREIRA, 2020)

Pode-se observar, na figura 6, o ecossistema das redes elétricas inteligentes em suas interrelações e componentes. Este grande ecossistema pode se subdividir em geração inteligente (a qual é responsável por agrupar os elementos de geração do sistema, edificações inteligentes, as quais serão planejadas para ter um ambiente mais sustentável, e gerenciável pelo ponto de vista da demanda de energia elétrica) e o usuário final inteligente, o qual não só

terá acesso a informações sobre sua demanda de energia, como poderá adquiri-la de novas formas (EPRI smart grid Demonstration Initiative, 2009).

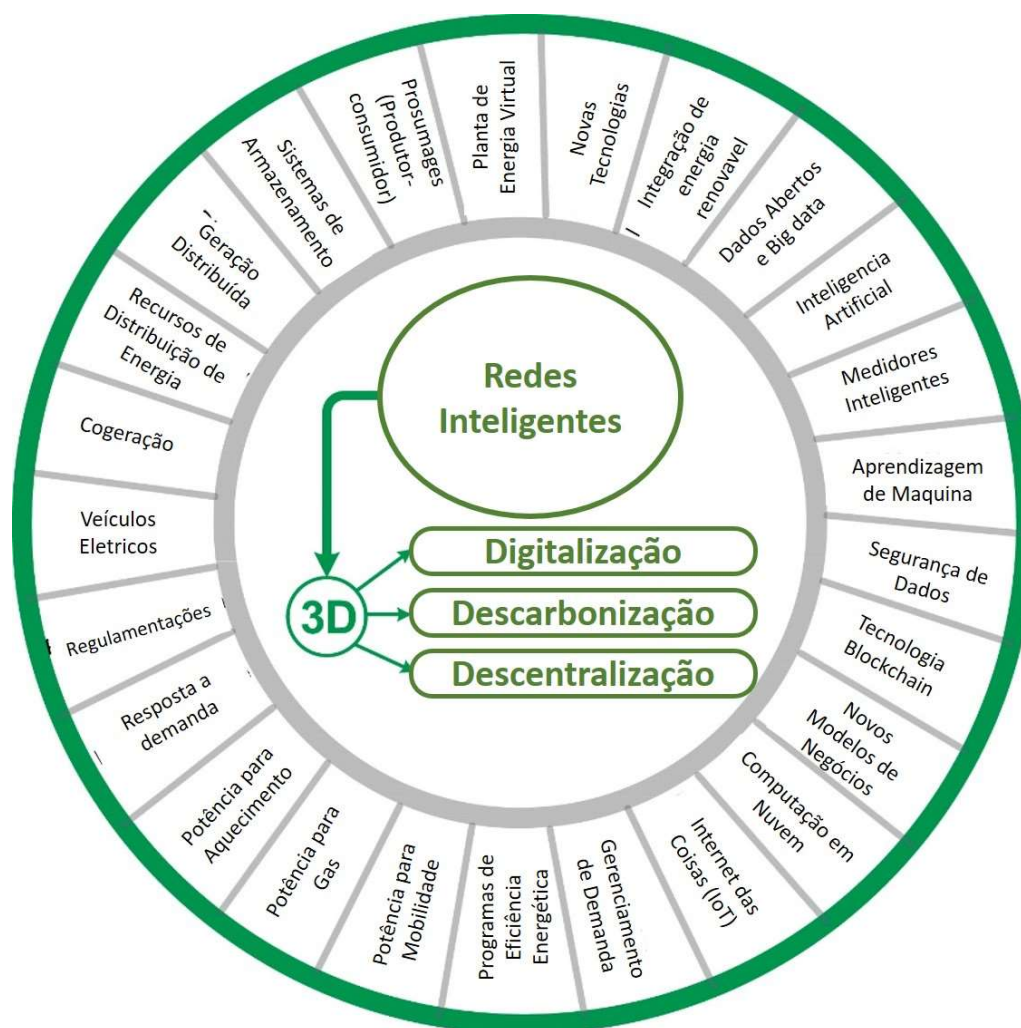
Figura 6 - Visão do futuro das redes elétricas inteligentes.



Fonte: Adaptado de EPRI(2009)

Essas perspectivas de sistema de energia inteligente já foram amplamente discutidas no setor global de eletricidade. A descarbonização, a digitalização e a descentralização são consideradas os principais impulsionadores dessa transição do sistema de energia e o Brasil não é exceção a essa tendência mundial (DRANKA e FERREIRA, 2020). Pode-se observar ao centro da figura 7 os 3 impulsionadores da evolução dos sistemas de energia e, ao redor, as tecnologias habilitadoras desta evolução.

Figura 7 - Principais impulsionadores da evolução dos sistemas de energia.

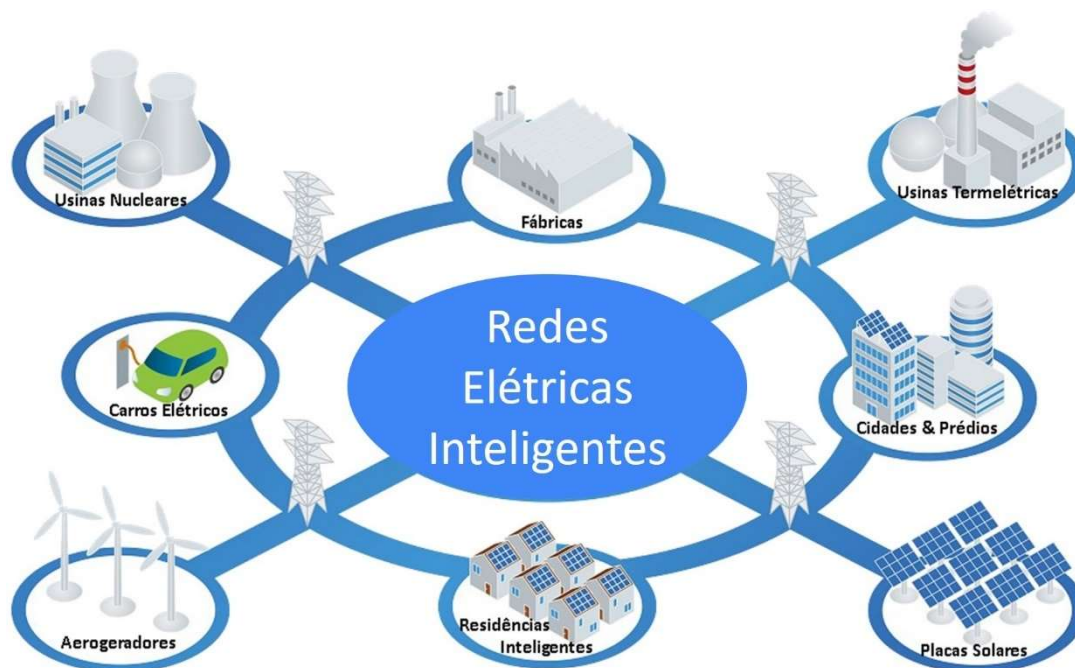


Fonte: Adaptado de Dranka, et al (2020)

A transição para um futuro sustentável está fortemente relacionada à implantação de tecnologias inteligentes, como por exemplo, o carregamento inteligente de veículos elétricos (DRANKA e FERREIRA, 2020). Entretanto, a carga adicional de veículos elétricos representa pode interferir na estabilidade da rede.

A eletrificação dos transportes traz desafios e oportunidades para a rede elétrica em transformação. Por um lado, o carregamento descontrolado de muitos veículos elétricos pode sobrecarregar a infraestrutura da rede. Surge, assim, a oportunidade de integração inteligente dos veículos elétricos com a rede inteligente para poder aliviar esse efeito e ajudar na estabilidade do sistema (MARTINENAS, 2017). A figura 8 ilustra os ecossistemas das redes elétricas inteligentes e o veículo elétrico neste contexto

Figura 8 - A eletrificação dos transportes como fator importante nas redes inteligentes



Fonte: Adaptado de Neves & Bagarolli, (2013)

2.1 Visão do setor elétrico

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) realizou simulações da penetração dos veículos elétricos na sua área de concessão. Considerando uma frota veicular elétrica de 4% a 10% da frota de veículos, até 2030, o consumo de energia elétrica adicional causado por esses veículos elétricos aumentaria de 0,6% a 1,6%, o que seria administrável pelo sistema elétrico brasileiro. (GESEL, 2014).

Na referência (FGV, 2017), foram realizadas simulações computacionais para avaliar o impacto desses veículos na rede de energia elétrica, e concluiu-se que a capacidade de geração atual conseguiria suportar essa carga adicional, de forma semelhante à instalação de um novo *shopping* ou edifício comercial. Ainda se sugere como solução viável para esses novos agrupamentos de eletropostos o aumento da potência dos transformadores no cenário atual. Conclui-se que o impacto da mobilidade elétrica no Sistema Interligado Nacional depende de como se dará a recarga dos veículos. No caso de recargas desordenadas, provavelmente, ocorrerá um aumento da demanda de ponta do sistema e, para evitar essa situação, tarifas incentivariam as recargas em horários determinados (FGV, 2017).

Com relação à regulamentação, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) aprovou a recarga de veículos elétricos por interessados na prestação desse serviço (distribuidoras, postos de combustíveis, *shopping centers*, empreendedores), ficando permitida, a qualquer interessado, a realização de atividades de recarga de veículos elétricos, inclusive para fins de exploração comercial a preços livremente negociados (ANEEL, 2018).

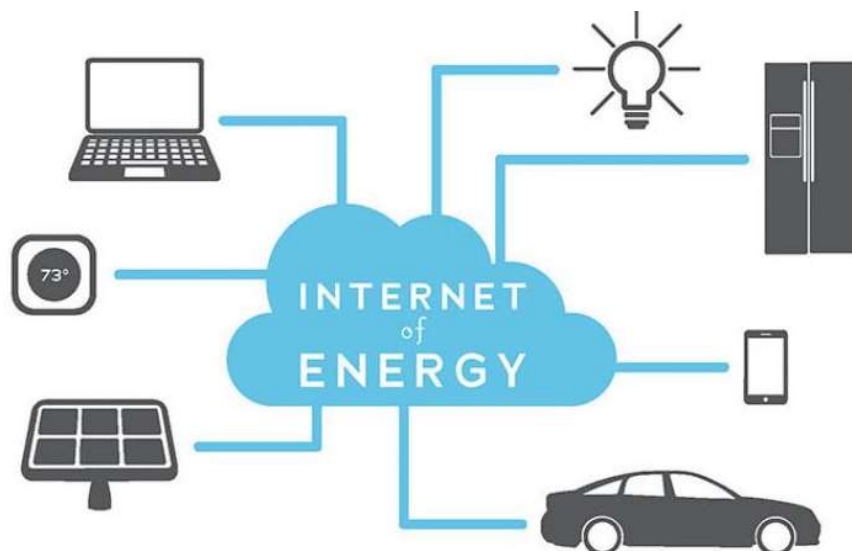
Considerada a primeira resolução normativa sobre veículos elétricos já implementada no Brasil, a RN nº 819/2018 (ANEEL, 2018) tem como objetivo reduzir as incertezas aos empreendedores que desejam investir no desenvolvimento da infraestrutura de cobrança de veículos elétricos, permitindo a existência de estações de carregamento públicas ou privadas. Porém, essa normativa não permite o fluxo de energia bidirecional entre a bateria do veículo elétrico e a rede elétrica, bem como a participação no sistema de compensação de eletricidade (DRANKA e FERREIRA, 2020).

2.2 IoE – *Internet of Energy*

A Internet da Energia ou IoE (*Internet of Energy*) refere-se à atualização e automação de infraestruturas de eletricidade. Isso permite que a geração de energia avance de forma mais eficiente e limpa com a menor quantidade de resíduos. O termo é derivado do mercado cada vez mais proeminente da tecnologia da Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*), que ajudou a desenvolver os sistemas de energia distribuída que compõem a IoE (Strielkowski et al, 2019).

Outra definição refere-se a esta tecnologia como uma infraestrutura de rede dinâmica e integrada, baseada em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis que interconectam a rede de energia com a Internet. Essa estrutura permite que informações e comandos sejam enviados quando e onde forem necessários (VERMESAN, BLYSTAD, *et al.*, 2011). Pode-se observar, na figura 9, que a dimensão da Internet da Energia não se limita a medições do sistema, mas a iteração das cargas neste contexto.

Figura 9 - IoE – Internet of Energy.

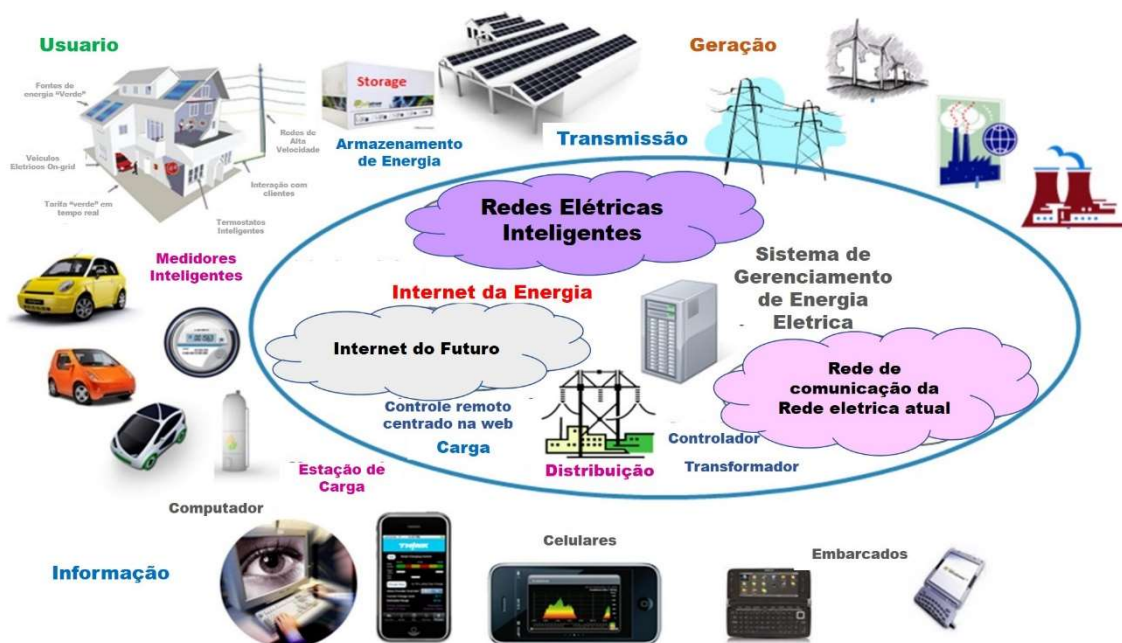


Fonte: ARTEMIS,(2019)

Existem muitos benefícios possíveis, resultantes da implementação da IoE, incluindo o aumento da eficiência em toda a operação da rede, o que pode ocasionar em redução de custos, que pode impactar no preço final da energia, repassado aos consumidores (VERMESAN, BLYSTAD, *et al.*, 2011).

A figura 10 mostra a visão e a abrangência da Internet da Energia.

Figura 10 - Visão e abrangência da Internet da Energia.



Fonte: Adaptado de ARTEMIS,(2019)

A mobilidade elétrica é uma das preocupações dos estudos em IoE. Dentro das atividades de operação e gerenciamento de rede elétrica, são abordados 2 elementos da mobilidade elétrica: (I) o controle integrado da frota de veículos elétricos, que analisa dados de estações de carregamento e ciclos de carga e descarga dos veículos com a intenção de melhorar a resposta à cobrança da demanda nos horários de pico, analisar e prever o impacto da carga dos veículos na demanda e identificar áreas para instalação de novas estações de carregamento e/ou reforço da rede de distribuição; e (II) o controle e gerenciamento do veículo para a rede, que analisa o padrão de carga e descarga dos veículos para apoiar a rede quando necessário, melhorando a flexibilidade do sistema, ativando e reduzindo a necessidade de capacidade de *backup* durante o horário de pico, para oferecer melhor interação entre a rede e os sistemas de carga (MOTLAGH, MOHAMMADREZAEI, *et al.*, 2020).

2.3 Integração Veículo com a Rede

O termo integração veículo com a rede elétrica ou VGI (*Vehicle to Grid Integration*), abrange as maneiras pelas quais os veículos elétricos e híbridos podem fornecer serviços para a rede elétrica. Para esse fim, esses veículos devem ter capacidade de gerenciar o carregamento, que se refere à capacidade técnica de controlar o volume de carga do veículo através do aumento ou diminuição do consumo de energia elétrica ou, ainda, ativar ou desativar a carga. O segundo requisito é a interação bidirecional, que se refere ao consumo ou fornecimento controlado de energia entre a rede e a bateria do veículo ou uma edificação e a bateria do veículo. (CAISO, 2014).

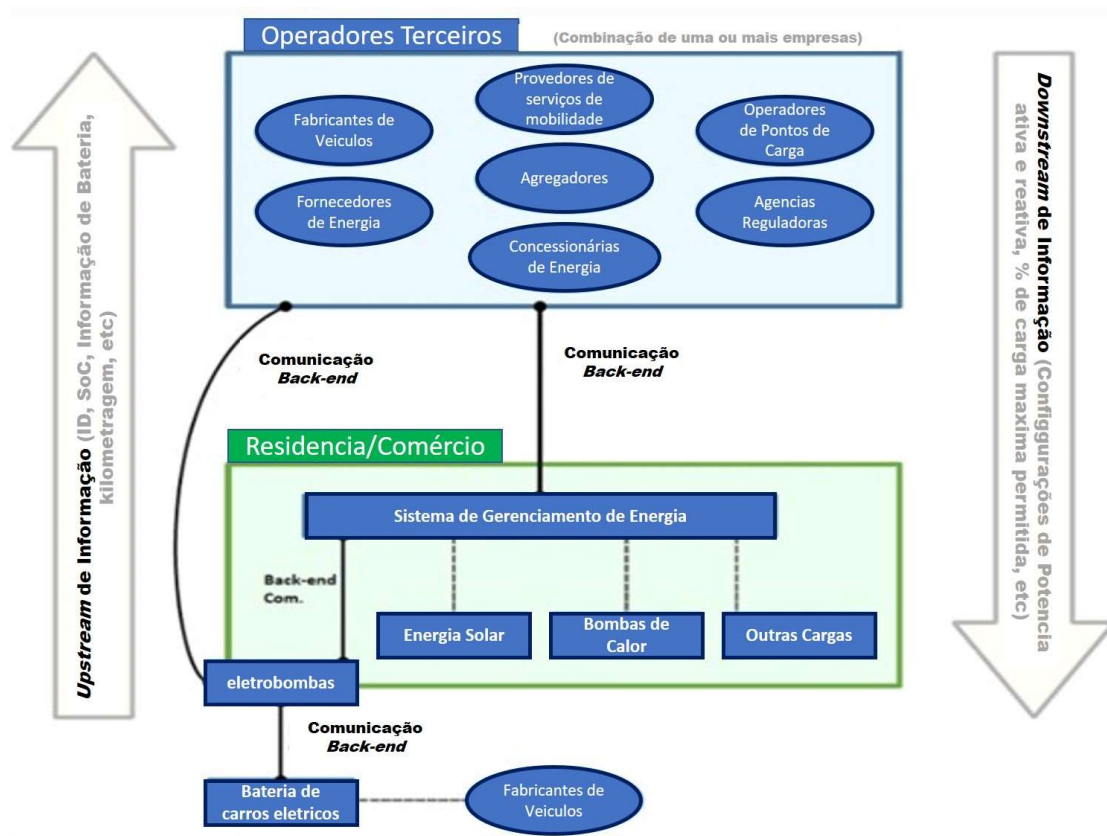
Para se habilitar o suporte ao sistema elétrico, diversas informações precisam ser trocadas entre os carregadores e os veículos, como dados sobre o pico de demanda de eletricidade, características do veículo, estado de carga da bateria, tamanho da bateria, a energia necessária para a próxima viagem, entre outras. Além disso, deve-se coletar informações da infraestrutura do sistema elétrico como frequência, corrente e tensão (ZHANG, HUANG e BOMPARD, 2018).

E finalmente, o controle aplicado a este sistema deve ser dinâmico para que uma mudança nos pontos de ajuste possa ser executada em segundos, e

com respostas em frações de segundo, conforme exigido por alguns serviços de rede (NEAIMEH e ANDERSEN, 2020).

Na figura 11, tem-se um diagrama apresentando as várias entidades envolvidas nesta comunicação e os seus relacionamentos (linhas pretas) realizados por protocolos de comunicação. Se pode observar as informações que seguem do processo de carga para o operador (flecha para cima) como identificadores do veículo e da estação de carga, estado de carga da bateria, informações da bateria, entre outras. Tem-se, ainda, uma segunda flecha, apontando do operador do sistema para o processo de carga, onde pode-se observar as informações de parâmetros de carga.

Figura 11 - Visão da iteração do veículo com a rede elétrica.



Fonte: adaptado de Neaimeh, et al., (2020)

3 ELETRIFICAÇÃO NOS TRANSPORTES

O transporte é um dos setores que enfrenta vários desafios atualmente, devido a preocupações ambientais. Essas preocupações incluem o esgotamento de combustíveis fósseis, o aquecimento global e a poluição local. Nesse cenário, os veículos elétricos podem ser uma solução adequada para auxiliar na mitigação dessas questões (CLAIRAND, GUERRA-TERÁN, *et al.*, 2019).

Os modos de transporte, exceto os foguetes, estão sendo eletrificados. Trens a diesel estão sendo desativados à medida que as redes ferroviárias são eletrificadas. A indústria aeroespacial está pesquisando e desenvolvendo ativamente aviões híbridos e totalmente elétricos. Porém, a maior transformação talvez esteja acontecendo na indústria automotiva, submetida a regulamentações ambientais rigorosas, onde quase todos os fabricantes automotivos estão, atualmente, produzindo versões elétricas (BEV) e veículos elétricos híbridos (PHEV) de seus modelos atuais (MARTINENAS, 2017).

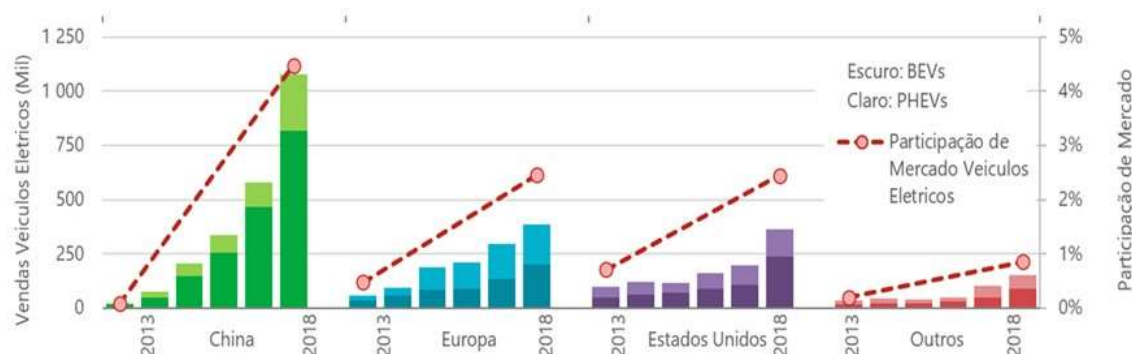
3.1 Mercado de Veículos Elétricos e Híbridos

O veículo elétrico ainda um pouco distante da massificação, o que deve ocorrer nas próximas décadas. Mas antes do veículo elétrico se tornar comum, ele deve ficar (I) mais barato, (II) com maior autonomia e (III) a resistência inicial ao seu uso precisa ser vencida. Com relação aos 2 primeiros itens, espera-se que as baterias de íons de lítio, as grandes responsáveis pelos preços ainda elevados dos carros elétricos, se tornem mais baratas e com maior capacidade de armazenamento. Enquanto isso não ocorre, incentivos são necessários para que a mobilidade elétrica continue se desenvolvendo. Já com relação à resistência ao uso do veículo elétrico por parte dos usuários, será necessário educar os consumidores em relação aos carros elétricos e investir em uma infraestrutura (seja pública ou privada) de estações de recarga (FGV, 2017).

Globalmente, mais de dois terços das vendas de carros elétricos, em 2018, foram de BEVs. Essa participação aumentou de 50%, em 2012, para 68% em 2018. Dentre estes dados, destaca-se: (I) a China, é um mercado dominado por BEV (76%), (II) nos Estados Unidos, houve um aumento de 53% em 2017 para 66% em 2018, devido às fortes vendas, em particular do Tesla Model 3 e (III) a Europa permaneceu um forte mercado para as vendas de PHEV, como atestam as vendas de BEV na Finlândia (14%), Suécia (25%) 14 e Reino

Unido (31%) (IEA, 2020). Na figura 12, pode-se observar as quantidades vendidas nas respectivas regiões mencionadas, bem como a taxa de participação nesses mercados. Estas taxas mostram o crescimento das vendas em relação ao total de veículos vendidos nos respectivos mercados.

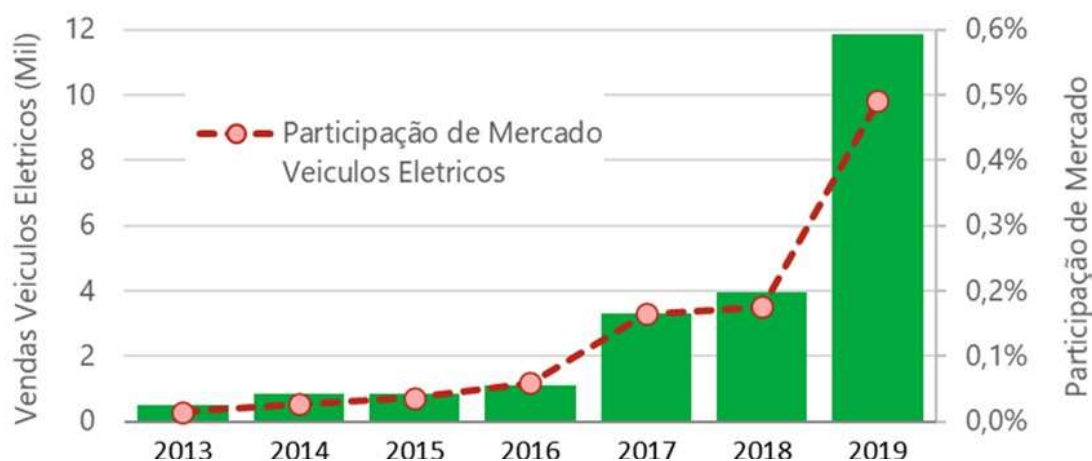
Figura 12 - Participação dos veículos elétricos no mercado global por região geoeconômica.



Fonte: Adaptado de IEA (2020)

Aplicando a mesma análise para o mercado brasileiro (embora mais embrionário), vê-se que a curva da taxa de participação do mercado mante-se com tendência positiva de crescimento (ANFAVEA, 2020). Na figura 13, pode-se notar o crescimento desta taxa de menos de 0,1% em 2013 para, aproximadamente, 0,5% em 2019, mesmo considerando a recessão do mercado entre 2014 e 2019.

Figura 13 - Participação dos veículos elétricos no mercado brasileiro.



Fonte: Autor com dados de ANFAVEA (2020)

A estimativa é que a disseminação do veículo elétrico deva acontecer, no Brasil, um pouco mais tarde do que em outros países devido a fatores como: (I) setor de biocombustíveis bem desenvolvido, onde considera-se o uso de

biocombustíveis para auxiliar na descarbonização da economia brasileira, (II) quantidade de veículos convencionais ainda em estoque - quando os veículos elétricos começarem a se inserir no mercado, isso pode afetar a velocidade de adoção dessa nova tecnologia veicular e (III) preferências do consumidor - o consumidor brasileiro ainda considera o carro como um bem, fator que contribui para que a mobilidade, como serviço, se desenvolva mais lentamente no país (FGV, 2017)

Com relação ao potencial do mercado brasileiro para carros elétricos, considerando: (I) o preço atual dos veículos elétricos entre R\$ 154 mil e R\$ 450 mil (II) que apenas 2,2 milhões de brasileiros declararam renda bruta superior a 20 salários mínimos e que, portanto, têm potencial de consumir este produto (SPE, 2016); (III) que a proporção desses indivíduos que optariam por veículos elétricos seria de um terço e (IV) que a taxa de renovação desta categoria de veículos é de cinco anos, chegaria-se ao valor aproximado, de 149 mil veículos licenciados por ano. Considerando, ainda, a quantidade de veículos licenciados no ano de 2019 (ANFAVEA, 2020), tem-se, aproximadamente, uma projeção de mercado de 6,2% do mercado total de veículos.

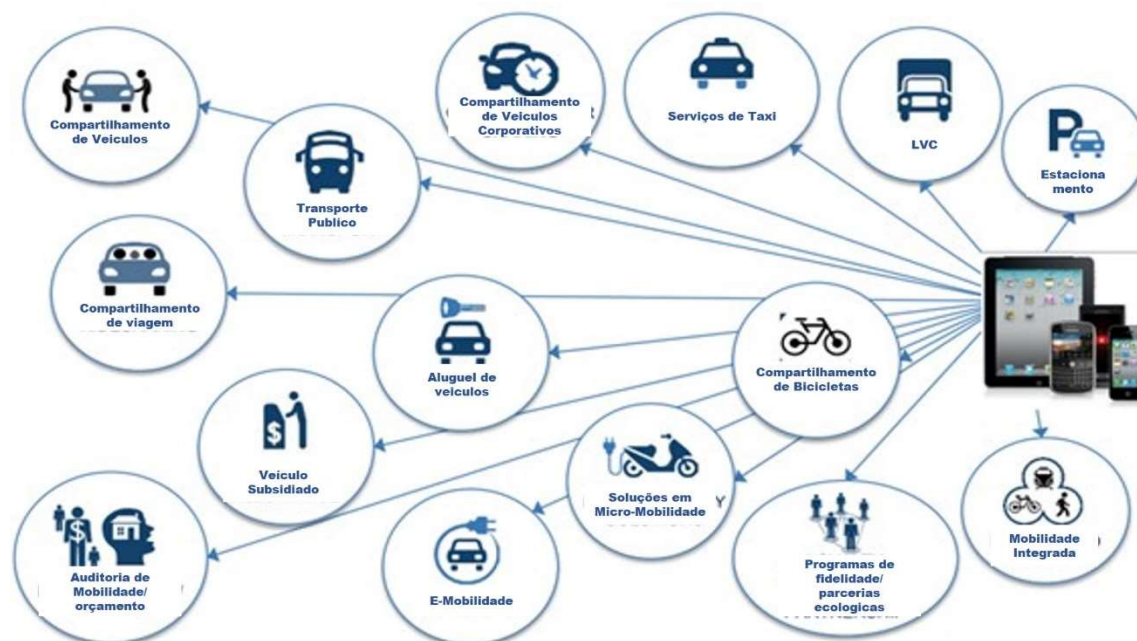
Tendo o histórico de veículos vendidos nos últimos 10 anos, tem-se uma faixa de 4,2% a 8% de participação do mercado. Dada a baixa probabilidade de redução nos preços, incentivos para carros elétricos são necessários para se imprimir uma taxa de adoção significativa (FGV, 2017).

3.2 Modelos de Negócios relacionados a Eletromobilidade

O formato do ecossistema urbano de mobilidade que se estabelecerá com a inserção da propulsão elétrica no setor automotivo ainda é incerto. O mais provável é que, gradualmente, cada região adote soluções que equilibrem vantagens e restrições impostas por seus contextos culturais, econômicos, de transporte, ambientais e industriais. A solução se adequará a fatores característicos do país, dentre eles (I) suas proporções continentais, (II) disparidade entre os mercados de grandes metrópoles versus o de pequenas e remotas cidades, (III) a elevada concentração de renda, (IV) além da existência de uma cadeia produtiva de biocombustíveis estabelecida por conta dos veículos flex e a etanol (FGV, 2017).

Já para a consultoria Frost & Sullivan, o futuro da mobilidade consiste em viagens multimodais de porta a porta, utilizando tecnologia habilitadoras e abrangendo serviços de pré-viagem, viagem e pós-viagem para melhorar a experiência de mobilidade para os usuários (FROST & SULLIVAN, 2016). A figura 14 apresenta os possíveis vetores de negócio que poderão surgir nos próximos anos.

Figura 14- Mobilidade integrada e potenciais de negócio.



Fonte: Adaptado de Frost & Sullivan (2016)

Em uma distribuidora de eletricidade espanhola, a Endesa, subsidiária da Enel, na Ilha de Mallorca, por meio do Ecar (Endesa Club de Auto Recarga), motoristas de carros elétricos têm acesso a eletropostos de recarga rápida ao longo da Ilha, utilizando um cartão pré-pago para pagar pela recarga, além de um aplicativo que informa quando e onde os eletropostos estão disponíveis. A Endesa também oferece diferentes planos para recarga das baterias dos carros elétricos – mecanismo análogo aos planos de operadoras de celular, além de serviço para instalação de pontos de recarga domiciliares (FGV, 2017).

A Hubeject, empresa europeia com mais de 600 parceiros, oferece uma plataforma de APIs (*Application Programming Interface*) para o mercado internacional de B2B (*Business-to-Business*) digital para serviços relacionados à cobrança de veículos elétricos. Já possui mais de 200.000 pontos de carregamento em três continentes, desde 2012, e conectam diferentes empresas

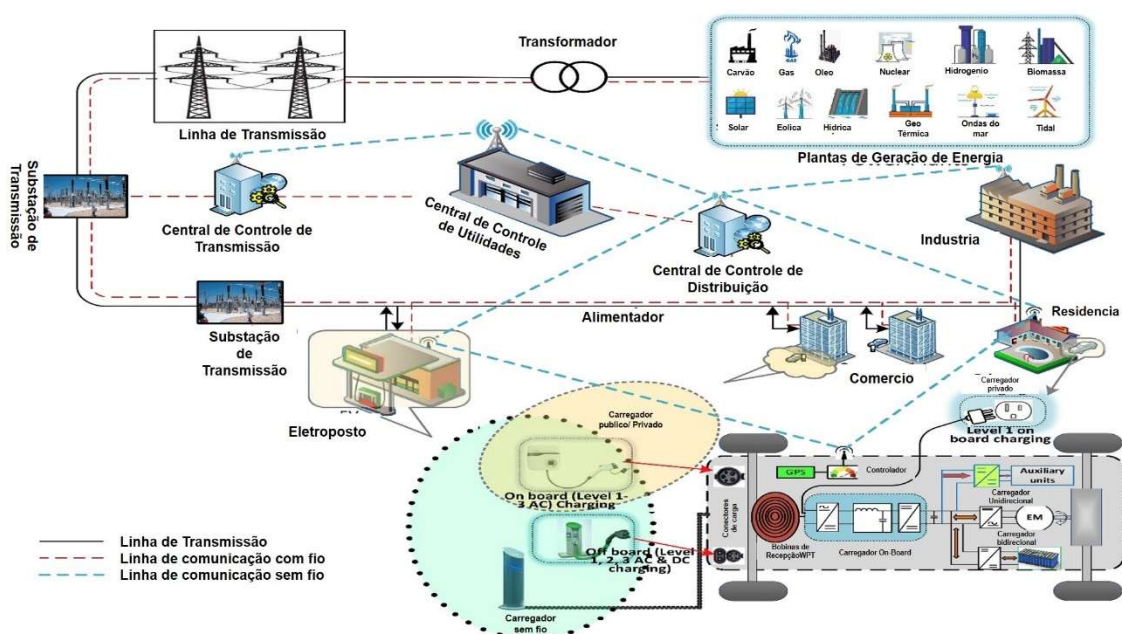
do mercado para criar uma rede de carregamento digital transfronteiriça para veículos elétricos, por exemplo, operadores de pontos de cobrança, prestadores de serviços de e-mobilidade, fornecedores de energia, operadores de frotas, empresas de compartilhamento de carros, fornecedores de cartões de serviço ou fabricantes de automóveis (HUBJECT, 2020)

Outro exemplo é a HAS-TO-BE e-Mobility, empresa alemã fundada em 2013, e que oferece um sistema de gerenciamento de suas infraestruturas a empresas que desejam oferecer carregamento e estações de carregamento para terceiros, agregando serviços de cobrança (HAS-TO-BE, 2020).

3.3 Infraestrutura de Carregamento

Em geral, a infraestrutura geral de carregamento de veículos elétricos compreende infraestrutura de energia e infraestrutura de controle e comunicação. A figura 15 ilustra a interação entre o veículo e o meio ambiente, através de carregadores em residências, em locais públicos ou privados como prédios comerciais. Ainda se pode notar a necessidade não apenas da rede de energia elétrica, mas das redes de comunicação, com ou sem fio e por último, tem-se o centro de controle, que, como o próprio nome diz, é responsável pelo controle em tempo real do carregamento e do gerenciamento da tarifação (DAS, RAHMAN, *et al.*, 2020)

Figura 15- Diagrama esquemático da infraestrutura de carregamento do VE.

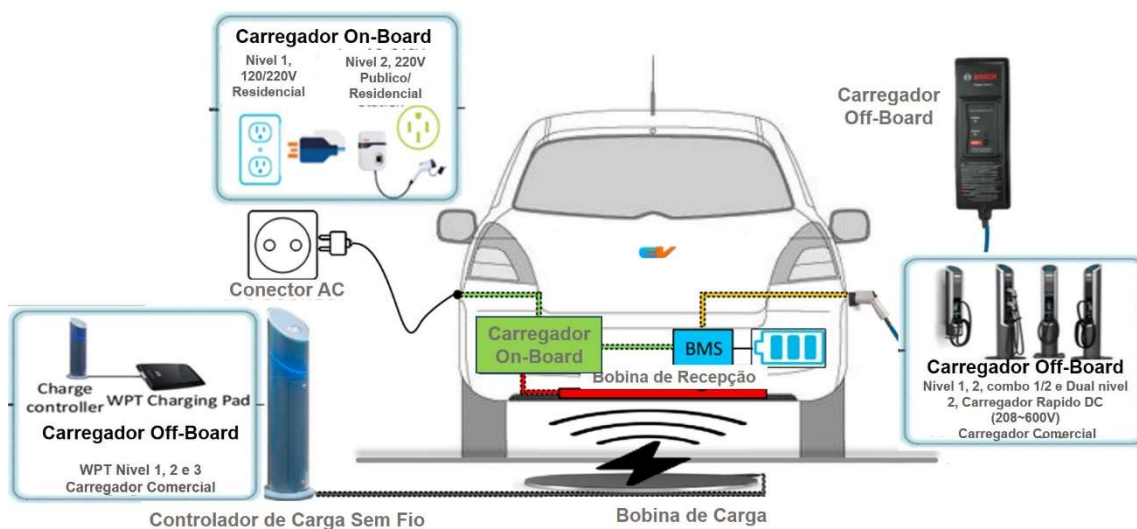


Fonte: Adaptado de Das, *et al.*, (2020)

Observando mais em detalhe, a infraestrutura de energia fornece um circuito ou sistema elétrico para o fluxo de energia entre os veículos e a rede (DAS, RAHMAN, *et al.*, 2020).

Na figura 16, vê-se os tipos de carregadores classificados pelo posicionamento do sistema de potência responsável pelo condicionamento da alimentação da bateria. Este sistema pode estar disposto na eletrobomba (*off board*), ou no veículo (*on board*) e os tipos de carregadores (nível 1, 2 ou 3).

Figura 16- Infraestrutura de energia no carregamento de EV.



Fonte: Adaptado de Das, *et al.*, (2020)

As estruturas de carregamento podem ser classificadas a partir de um conjunto de atributos:

Tabela 1 – Classificação da infraestrutura de carregamento de VE

Tipos de energia	alternada	
	contínua	
Sistema de potência do condicionamento da alimentação da bateria	eletrobomba	
	Veículo	
	Sem Fio	
Contato físico	Sem Fio	tecnologia WPT
	Condutivo	carregamento lento (níveis 1 e 2)
carregamento rápido (nível 3 ou DCFC)		
Direção do fluxo de energia	unidirecional	
	bidirecional	

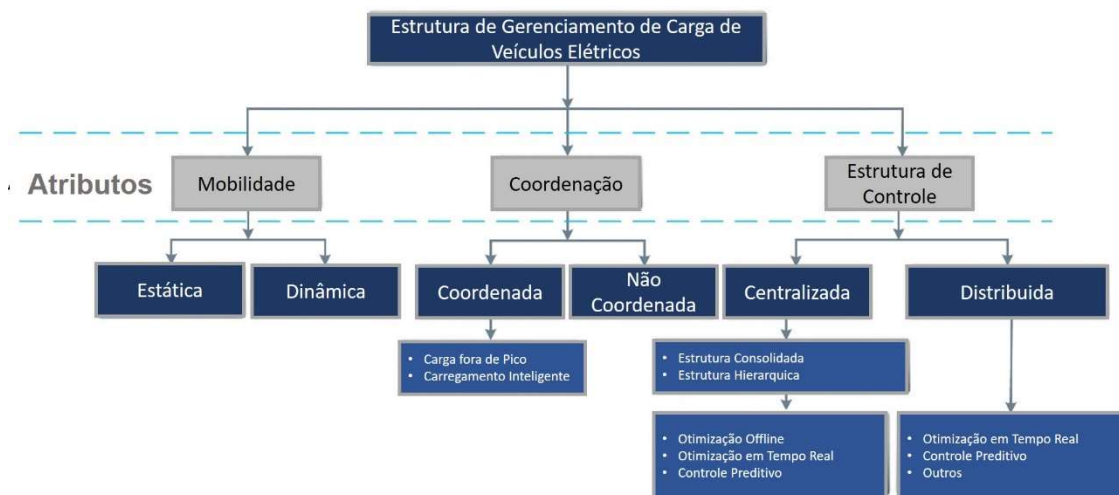
Fonte: Autor, adaptado de Das, *et al.*, (2020)

Por último, tem-se também o sistema de controle e comunicação, fundamental para o monitoramento e controle em tempo real do carregamento dos veículos elétricos. Embora o carregamento represente uma demanda adicional de carga no sistema de energia, ele pode ser programado para reduzir o pico de demanda e o custo de cobrança, através do gerenciamento e coordenação adequados das estações de carga conectadas à rede, com base na arquitetura de controle e na infraestrutura de comunicação envolvidas (DAS, RAHMAN, *et al.*, 2020). Pode-se ver na figura 17 os diversos atributos relacionados com o gerenciamento de carga:

- (I) Mobilidade de cobrança, onde a infraestrutura de carga pode ser classificada em carregamento estático (onde o veículo é considerado estacionado em uma estação de carregamento durante o carregamento) ou dinâmico (ou de mobilidade), onde se consideram diferentes movimentos temporais, como chegada e partida do veículo, histórico de viagens e qualquer ocasião não planejada de chegada / partida do veículo.
- (II) Coordenação de cobrança, na qual existem o carregamento descoordenado (onde as baterias começam a carregar imediatamente quando conectadas e tendem a aumentar a carga nos horários de pico) e o carregamento coordenado ou inteligente, o qual otimiza a demanda de tempo e energia um método simples de cobrança coordenada é a cobrança fora do pico, onde os veículos são cobrados em um horário específico do dia em que a carga da rede é mínima. O segundo método, é gerenciado através do carregamento inteligente, onde avalia-se uma série de outros aspectos na rede para otimizar a carga com a demanda do sistema.
- (III) Estrutura de controle de cobrança, onde pode-se utilizar a estrutura centralizada para obter as informações dos veículos, processá-las centralmente e fornecer uma solução global ótima, considerando todas as restrições da rede e do usuário. Nessa estrutura, um mecanismo de controle principal executa a tomada de decisão em relação à taxa de cobrança e à programação dos veículos ou controle descentralizado de cobrança. Também é conhecido como controle distribuído de cobrança, e é uma estratégia em que os

usuários dos veículos, escolhem diretamente seus horários de cobrança conforme sua conveniência.

Figura 17- Classificação das estratégias de controle utilizadas no sistema de carga



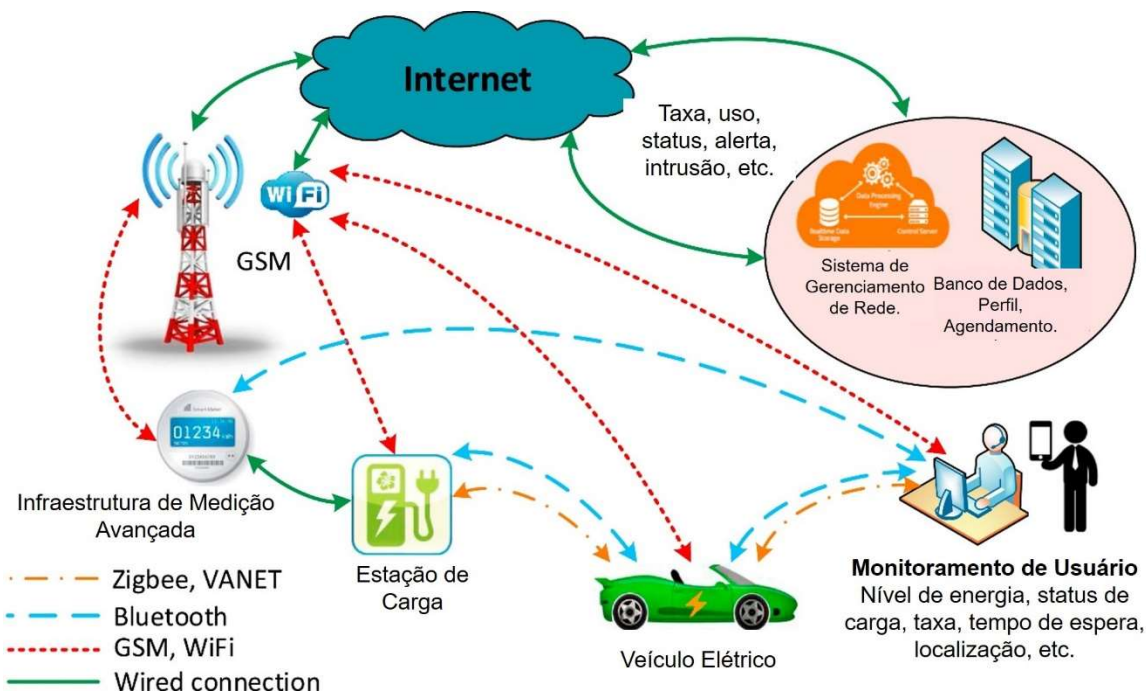
Fonte: Adaptado de Das, et al., (2020)

As estações de carga estão espacialmente distribuídas na rede de distribuição. Para gerenciar e controlar o fluxo de energia dentro e fora das estações, duas estratégias podem ser aplicadas: carregamento centralizado e descentralizado. Em ambos os casos, os protocolos de comunicação disponíveis podem ser classificados em tecnologias de comunicação como:

- (I) Com fio, são adequadas para transferência de dados de longa distância, como as estações de carga distribuídas nas grandes cidades como as baseadas em linha de energia ou PLC (*power line communication*), que usa a mesma linha de energia para enviar e receber informações, fibras óticas ou ainda sistemas DSL (*Digital subscriber line*)
- (II) Sem fio, sendo o principal meio para fornecer as informações de status de cobrança aos usuários do sistema. Para conexão à rede as tecnologias de comunicação incluem redes Zigbee, celular, WI-FI, WiMAX e satélite.

Essas tecnologias são aplicadas para a integração da rede elétrica em diferentes redes de comunicação para controlar e monitorar a carga ou descarga dos veículos elétricos. (DAS, RAHMAN, et al., 2020). A figura 18 descreve a aplicação destas múltiplas tecnologias.

Figura 18- Rede de comunicação para carregamento de EV.



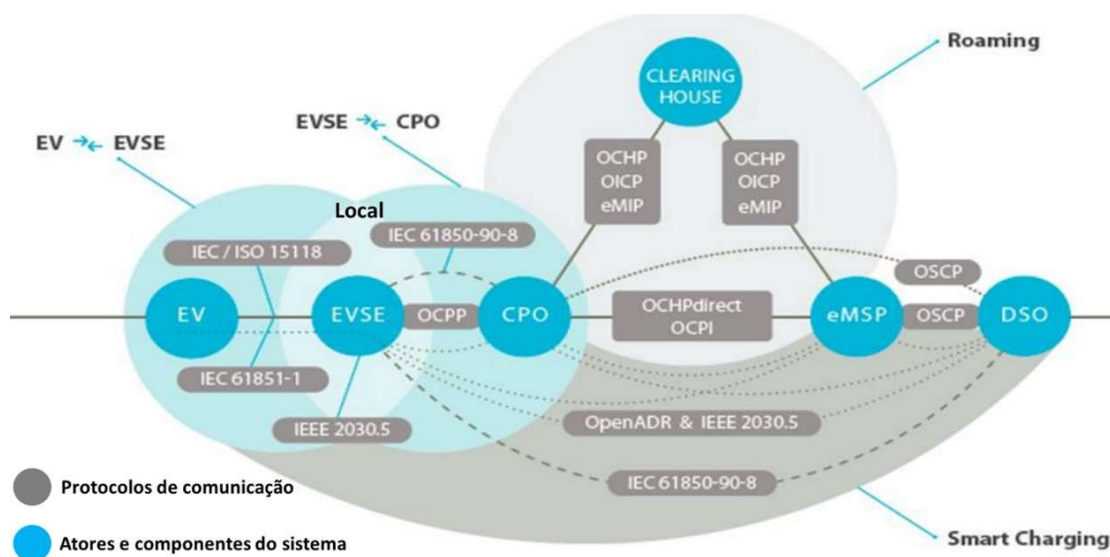
Fonte: Adaptado de Das, et al., (2020)

3.4 Os protocolos de comunicação VGI

Os protocolos de comunicação fornecem um conjunto de regras e diretrizes para facilitar a comunicação de dados entre duas ou mais entidades. É responsável pela definição da interface destas entidades para garantir a compatibilidade entre esses diferentes sistemas (NEAIMEH e ANDERSEN, 2020). Em uma segunda definição, protocolo de comunicação é um padrão que define a interface entre dois ou mais elementos de acoplamento compatíveis e não semelhantes e garantem a interoperabilidade entre diferentes sistemas (FERWERDA, BAYINGS, et al., 2018).

Os protocolos relacionados ao universo do carregamento de veículos elétricos podem ser comparados ao relacionamento dos sistemas móveis de telefonia no aspecto de interconexões de curta ou longa distância. Podem existir determinadas operadoras que oferecem carga de veículos em uma região geográfica, como uma região metropolitana ou estado, mas não em outra (ELAADNL, 2018). Na figura 19, pode-se observar os entes relacionados aos sistemas de carga de veículos elétricos agrupados por domínios de controle local, remoto ou *roaming* e carregamento inteligente ou *Smart Charging*.

Figura 19 - Cenário de entes agrupados por controle local, roaming e *smart charging*



Fonte: Adaptado de ElaadNL, (2018)

A mobilidade elétrica pode ser vista como um sistema complexo, com vários atores envolvidos e inter-relacionados, incluindo operadores de pontos de cobrança, provedores de serviços de mobilidade eletrônica e concentradores de roaming. Construir uma infraestrutura de cobrança eficiente e fácil de usar exige que todos se comuniquem. Neste cenário de mobilidade elétrica com cobrança inteligente, atores do setor de mobilidade estão interagindo com atores do setor de energia, como operadores de rede, produtores de energia e agregadores e a inclusão de pontos de cobrança em aplicativos de navegação requer informações sobre localização, disponibilidade e tarifas de transações de cobrança. Os protocolos são essenciais para garantir a comunicação eficiente entre todas as partes envolvidas (FERWERDA, BAYINGS, *et al.*, 2018). A tabela 2 descreve os principais protocolos de conexão roaming existentes na atualidade.

Tabela 2 – Os protocolos de roaming na Europa

Protocolo	Proprietário / Independente
Protocolo da Câmara de Compensação Aberta (OCHP)	Proprietário (e-Clearing.net)
Protocolo InterCharge Aberto (OICP)	Proprietário (Hsubject)
Protocolo de Interoperação eMobility (eMIP)	Proprietário (Gireve)
Protocolo de interface de ponto de carregamento aberto (OCPI)	Independente

Fonte: Autor, adaptado de Das, *et al.*, (2020)

Segundo Neaimeh, et al.(2020), os protocolos de atuação local podem ser divididos em:

- (I) *Front-end*, que são aqueles que estabelecem conectividade entre o carro e o ponto de carregamento. Servem para especificar os requisitos para as conexões e as topologias de carregamento (equipamento de carregamento interno / externo; carregamento condutor / indutivo) e
- (II) *Back-end*, que são aqueles que enfatizam os requisitos de comunicação e segurança cibernética, definem a conexão entre o ponto de carregamento e um operador terceiro.

Pode-se, ainda, fazer uma segunda separação entre os protocolos, que são os proprietários, desenvolvidos por consórcios privados, ou eles podem ser desenvolvidos de maneira aberta por organizações públicas de desenvolvimento de padrões ou alianças abertas (NEAIMEH e ANDERSEN, 2020).

Nas tabelas 3 e 4, pode-se observar os principais protocolos de integração entre os veículos, as redes elétricas e os nós de gerenciamento dos postos de carga.

Tabela 3 – Descrição dos principais protocolos de integração

Nome	Descrição	Limitações
IEC 61851 (1)	Padrão transversal entre topologias de carregamento, segurança e comunicação (Martinenas et al. 2017).	Não é possível o intercâmbio avançado de dados (por exemplo, leituras do medidor, informações sobre tarifas etc.) necessários para estratégias avançadas de cobrança inteligente.
ISO 15118 (2)	Permite uma forma de comunicação mais avançada à IEC 61851 entre EV e estação de carregamento como requisitos para cobrança, gerenciamento de carga, medição e cobrança, aplicativos de carregamento com fio (CA e CC) e sem fio, certificados digitais, autenticação e autorização automatizadas (ISO 2013 ; Elaad NL 2018 ; Mültin 2019a). A ISO 15118 faz parte do Sistema de carregamento combinado (CCS), que é um conjunto de padrões de hardware e software para sistemas de carregamento.	Próxima edição será publicada no final de 2020 e definirá casos de uso para transferência de energia bidirecional. Primeiras implementações de mercado previstas para 2023/2024 (Mültin 2019a). Informações sobre o estado da carga permanecerão opcionais, carro comunicará a quantidade de energia necessária para carregar completamente (Mültin 2019a).
CHAdEMO (3)	O protocolo é usado para carregamento DC e a especificação v2.0 inclui a possibilidade de transferência de energia bidirecional e troca do estado de carga da bateria (CHAdEMO 2019a). O protocolo está disponível para membros pagantes para implementá-lo, mas não podem atualizar / ramificar o código. Segue as normas IEC 61851–23 (estação de carregamento DC EV) e IEC 61851–24 (comunicação digital entre uma estação de carregamento DC EV e um EV para controle de carregamento DC) (Martinenas et al. 2017). Mas estes não fornecem detalhes suficientes para implementar completamente o protocolo.	O CHAdEMO não possui recursos de comunicação segura (Martinenas et al. 2017). Em 2019, a CHAdEMO anunciou que está co-desenvolvendo o próximo padrão de carregamento EV ultrarrápido chamado ChaoJi, em colaboração com o China Electricity Council (CEC), que está por trás do padrão GB / T para carregamento de EV na China (CHAdEMO 2019b)
OCPP (4)	Open Charge Point Protocol (OCPP) é aplicado em comunicações entre pontos de carregamento EV e um operador de sistema central (por exemplo, CPO). Alguns dos recursos de incluem suporte para sinais externos de controle de carregamento inteligente. O OCPP 2.0 implementa recursos de segurança aprimorados.	alta comandos de fluxo de energia bidirecional. Trabalho em andamento para incluí-lo nas próximas versões do OCPP (de Leeuw 2019).

(1) A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) é uma organização internacional de padrões que prepara e publica padrões internacionais para toda a Eletro tecnologia.

(2) A ISO, a Organização Internacional de Padronização, é um organismo internacional de definição de padrões composto por representantes de várias organizações nacionais de padrões.

(3) Protocolo de comunicação mantido e desenvolvido pela organização CHAdEMO - Japão

(4) O OCPP está disponível e mantido pela Open Charge Alliance (OCA), que não é uma organização de padrões credenciada (Open Charge Alliance 2019a ; de Leeuw 2019).

Fonte: Adaptado pelo autor de Neimeh & Andersen, (2020)

Tabela 3 – Descrição dos principais protocolos de integração (Continuação)

Nome	Descrição	Limitações
IEC 63110	Gerencia estações de carregamento de EV. Padroniza a comunicação entre a estação de carregamento e um sistema de gerenciamento de carregamento (IEC-TC69 2018 ; Bertrand 2020).	Em um estágio inicial de desenvolvimento. Pode se tornar o sucessor de-jure da OCPP.
Open ADR (5)	Open Automated Demand Response (ADR) permite que os provedores de serviços de resposta à demanda comuniquem sinais diretamente aos clientes existentes usando um idioma comum e comunicações existentes, como a Internet. Por exemplo, comunicação entre um operador de terceiros e um EMS.	Trabalho adicional necessário para o alinhamento com protocolos complementares (por exemplo, Open ADR-OCPP) Guias de programa necessários para casos de uso de VE (essa conexão para o protocolo é genérica).
IEEE 2030.5 (6)	Protocolo baseado em IP com documentação disponível descrevendo como pode ser aplicado ao carregamento inteligente de VE (Elaad 2016 ; IEEE Standards Association 2018 ; Lum 2020). Usado para a comunicação entre EV e EVSE (isto é, front-end) em alguns projetos de P&D nos EUA (Chhaya 2015). Permitir comunicação segura e independente do fabricante entre um operador de terceiros e equipamentos instalados pelo cliente, como EMSs, sistemas solares e pontos de carregamento de EV (IEEE Standards Association 2018).	Guias de programa necessários para casos de uso de VE. Se usado como um protocolo front-end, faltam casos de uso adicionais, como autorização e autenticação automatizadas.
EEBUS (7)	Permite comunicação segura e independente do fabricante entre um operador de terceiros (por exemplo, DSO) e o equipamento instalado pelo cliente, como EMSs, sistemas solares e pontos de carregamento de EV (EEBUS Initiative eV 2019)	Guias de programa necessários para casos de uso de VE.
Protocolos Proprietários	Várias empresas desenvolveram seus protocolos de comunicação de backend proprietários (por exemplo, estendendo-se ao OCPP) (Christensen 2018; Astorg et al. 2019; Indra 2019 ; Ocrapo EV 2019 ; Nissan Energy 2019).	Protocolos diversos e proprietários levariam a estratégias de controle de cobrança separadas, gerenciando diferentes subconjuntos de BEVs separadamente. Isso pode correr o risco de perder ou usar muito a flexibilidade da demanda de cobrança.

(5) O Open ADR permite uma comunicação segura e independente do fabricante e está disponível e é mantido pela The Open ADR Alliance (Ghatikar e Bienert 2011; OpenADR Alliance 2019 ; Bienert 2019).

(6) Cada vez mais sendo usado em projetos com VEs em P&D e implementações de mercado. ADR aberto usado principalmente em combinação com OCPP (Ghatikar 2016; Hoekstra et al. 2016; Aylott 2019; Klein Koerkamp 2019).

(7) EEBus está disponível e desenvolvido pela EEBus Initiative eV

Fonte: Adaptado pelo autor de Neimeh & Andersen, (2020)

Tabela 4 – Propriedades dos principais protocolos de integração

Nome	Tipo	Abertura	Interoperabilidade	Maturidade	Adoção do mercado
IEC 61851	Front-end	Alto	Alto	Alto (1)	Alto (2)
ISO 15118	Front-end	Alto	Alto	Médio (3)	Baixa (4)
CHAdeMO	Front-end	Médio	Médio	Alto	Alto (5)
OCPP	Back-end (somente para veículos elétricos)	Médio / Alto (6)	Alto	Alto (7)	Alto (8)
IEC 63110	Back-end (somente para veículos elétricos)	Alto	Alto	Baixo	Baixo
Open ADR	Back-end (Genérico)	Alto (9)	Médio (10)	Alto (11)	Médio/ Alto (12)
IEEE 2030.5	Front-end, Back-end (Genérico)	Alto	Médio (13)	Alto (14)	Baixo (15)
EEBUS	Back-end (Genérico)	Médio/ Alto (16)	Não acessível	Baixo	Baixo (17)
Protocolos Proprietários	Back-end	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

(1) Pode ser testado e certificado em diferentes laboratórios de teste (Elaad 2016).

(2) Todo EV na Europa suporta o padrão.

(3) Nenhuma certificação oficial disponível. Eventos de teste regulares (TS Testing Symposium 2019). Implementação de código aberto (Mültin 2019b).

(4) Em implementação de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de carregamento inteligente e funcionalidade V2G (Elaad 2019). Recebeu suporte de várias grandes empresas automotivas (CharIN eV 2017).

(5) P&D e implementação de mercado do CHAdeMO em projetos V2G no Japão, Reino Unido, Dinamarca (Christensen 2018; Governo do Reino Unido 2018; Andersen et al. 2019 ; Octopus EV 2019 ; OVO Energy 2019).

(6) porque o OCA (Open Charge Alliance) não é credenciado.

(7) Ferramenta de teste e certificação do OCPP 1.6 estão disponíveis (Open Charge Alliance 2019b).

(8) Implementações de mercado por muitos fornecedores na Europa e em partes dos Estados Unidos.

(9) A IEC aprovou a especificação Open ADR 2.0b como um padrão IEC completo, a ser conhecido como IEC 62746-10-1 ED1 (IEC 2019)

(10) Descrição genérica, tornando-o menos interoperável

(11) A OpenADR Alliance fez parceria com várias casas de teste internacionais necessárias para a certificação.

(12) O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) é uma associação profissional de engenharia eletrônica e engenharia elétrica.

(13) Descrição genérica, tornando-o menos interoperável

(14) Ferramentas de teste disponíveis, programa de testes de conformidade reconhecidos nos EUA e na Coreia (Elaad 2016; International ZEV Alliance et al. 2019).

(15) Uso limitado com VEs fora das implementações de P&D.

(16) A EEBus Initiative eV não é uma organização credenciada, mas “os grupos de trabalho garantem que apenas o necessário seja padronizado”.

(17) Uso limitado com VEs fora das implementações de P&D. Por exemplo, Projeto de Integração de Rede Global (Bienert 2019).

Fonte: Adaptado pelo autor de Neimeh & Andersen, (2020)

4 OCPP - OPEN CHARGE POINT PROTOCOL

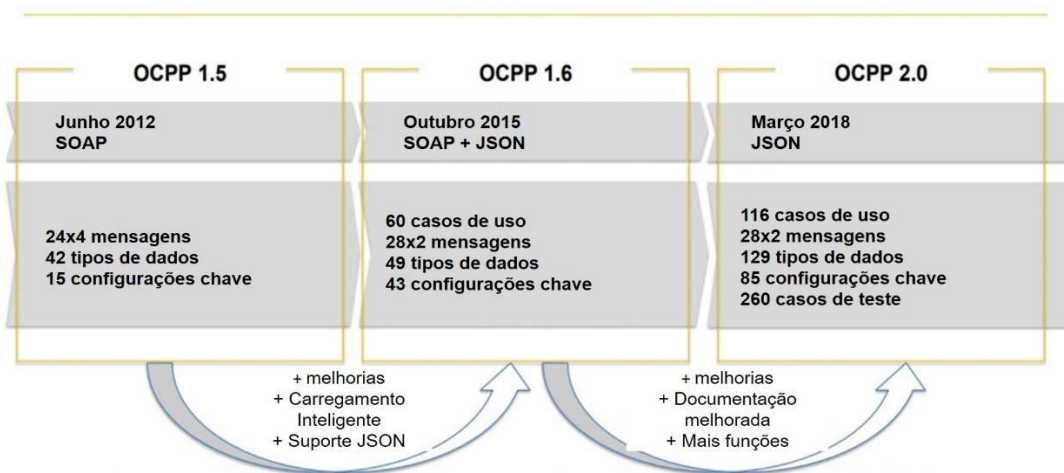
Com a missão de promover o desenvolvimento global, a adoção e a conformidade de protocolos de comunicação na infraestrutura de carregamento de Veículos Elétricos e nos padrões relacionados por meio de colaboração, educação, testes e certificação, a Open Charge Alliance (OCA) foi criada, com mais de 165 participantes, 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, 2020)

O protocolo aberto de ponto de carregamento ou OCPP (*Open Charge Point Protocol*) é um protocolo de código aberto e gratuito que possibilita conectar qualquer estação de carregamento (*Charge Point ou CP*) a qualquer sistema central ou CPO (*Charge Point Operator*), independentemente do fornecedor (van Amstel et al, 2016).

Desenvolvido em 2009 para o mercado de infraestrutura de veículos elétricos, é suportado por diversas empresas do setor como empresas de serviços públicos, fabricantes de estações de carregamento e fornecedores de *software* de retaguarda. Como o OCPP foi projetado para ser independente do fornecedor, oferece a oportunidade para os operadores de infraestrutura escolherem as estações de carregamento de veículos elétricos e para os fornecedores fornecerem estações de carregamento de veículos elétricos para qualquer operador de infraestrutura (GREENLOTS, 2018).

Historicamente, o OCPP possui três versões diferentes, desde o momento de seu primeiro lançamento. Essas versões correspondem ao OCPP 1.5 (que é uma versão com mais funcionalidades que a versão 1.2) lançado em 2012, OCPP 1.6, de outubro de 2015 e OCPP 2.0 de março de 2018 com uma atualização OCPP 2.0.1 de março de 2020. A figura 20, descreve as diferenças entre as três versões, onde pode se observar os dois protocolos SOAP e JSON (que roda sobre WebSocket).

Figura 20- Visão das versões OCPP.



Fonte: Open Charge Alliance, (2021)

O OCPP 1.6 utiliza a estrutura SOAP para enviar mensagens entre seções pela Internet. A vantagem do SOAP é que os locais de trabalho para enviar e receber mensagens são garantidos pelo padrão.

Já o OCPP 2.0, contém uma grande quantidade de novos destaques levantados em 116 casos de uso, suportados por WebSocket. Existem muitas funcionalidades inclusas e aprimoradas, como gerenciamento de dispositivo, gerenciamento aprimorado de transações, segurança adicional, funcionalidades de carregamento inteligente adicionadas, suporte para ISO 15118: padrão internacional que descreve o protocolo de comunicação digital que um veículo elétrico (EV) e uma estação de carregamento devem usar para recarregar a bateria de alta tensão do EV (MARTINENAS, 2017).

A tabela 5 descreve as principais funções do OCPP 2.01.

Tabela 5 – Blocos funcionais do OCPP2.0.1

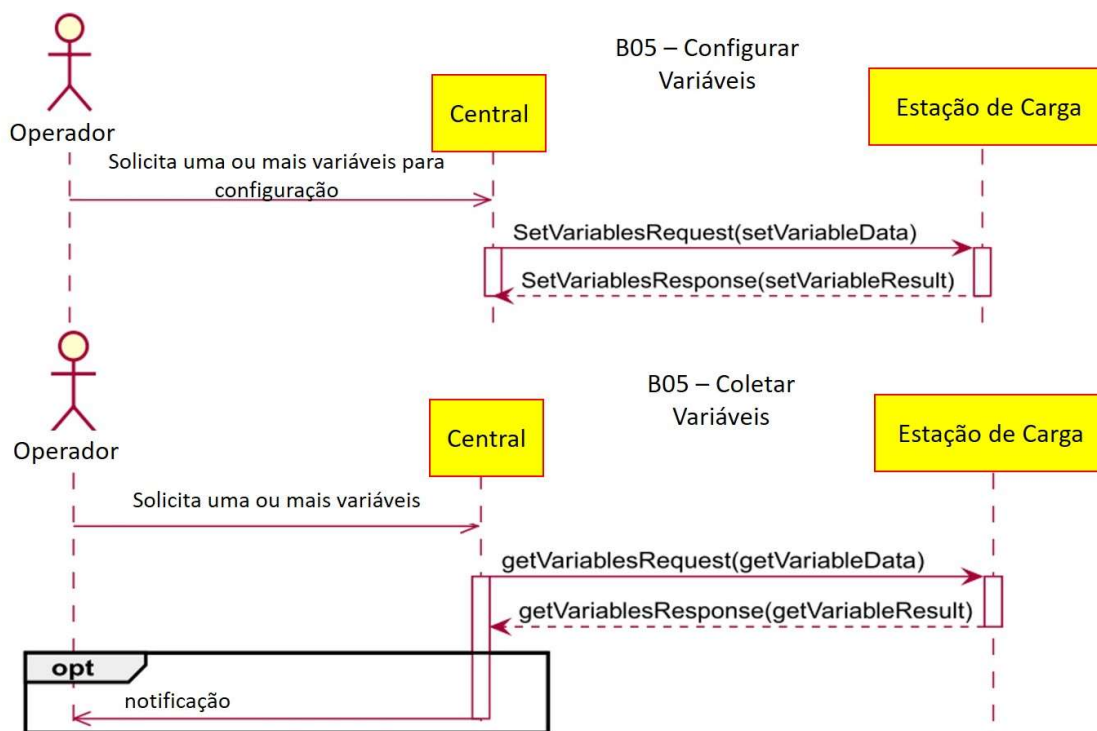
Clausula	Blocos funcionais	Descrição
A.	Segurança	Este bloco funcional descreve uma especificação de segurança para o protocolo OCPP.
B.	Provisionamento	Este bloco funcional descreve todas as funcionalidades que ajudam um CSO a provisionar suas estações de carregamento, permitindo que sejam registrados e aceitos em sua rede e recuperando informações básicas de configuração dessas estações de carregamento.
C.	Autorização	Este bloco funcional descreve todas as funcionalidades relacionadas à autorização: Autorizar solicitação de tratamento / comportamento de mensagens e funcionalidade de cache de autorização
D.	Gerenciamento de lista de autorização local	Este Bloco Funcional descreve todas as funcionalidades relacionadas à autorização: Mensagem de Solicitação de Autorização Este Bloco Funcional descreve a funcionalidade para gerenciar a funcionalidade de manipulação / comportamento da Lista de Autorização Local e o Cache de Autorização
E.	Transações	Este bloco funcional descreve a funcionalidade básica relacionada à comunicação OCPP para transações iniciadas / paradas na estação de carregamento.
F.	Controle remoto	Este bloco funcional descreve três tipos de casos de uso para gerenciamento de controle remoto do CSMS: controle remoto de transações, desbloqueio de um conector e acionador remoto.
G.	Disponibilidade	Este bloco funcional descreve a funcionalidade de envio de mensagens de notificação de status
H.	Reserva	Este bloco funcional descreve a funcionalidade de reserva de uma estação de carregamento.
I.	Tarifa e Custo	Este bloco funcional fornece informações de tarifas e custos para um motorista EV, quando uma estação de carregamento é capaz de mostrar isso em um display. Antes que um motorista comece a cobrar informações sobre tarifas, é necessário fornecer preços detalhados para todos os componentes que compõem o plano tarifário aplicável a esse motorista nesta estação de carregamento. Durante o carregamento, o EV Driver precisa mostrar o custo total em execução, atualizado regularmente, com um intervalo adequado. Quando o EV Driver para de cobrar, o custo total dessa comunicação OCPP precisa ser mostrado.
J.	Medição	Este Bloco Funcional descreve a funcionalidade para o envio de valores do medidor, com amostragem periódica e / ou tempo alinhado ao relógio.
K.	Carregamento Inteligente	Este bloco funcional descreve toda a funcionalidade que permite ao CSO (ou indiretamente a terceiros) influenciar a corrente / energia de uma sessão de carregamento ou definir limites para a quantidade de energia / corrente que uma estação de carregamento pode oferecer a um EV
L.	Gerenciamento de Firmware	Este bloco funcional descreve a funcionalidade que permite que um CSO atualize o firmware de uma estação de carregamento
M.	Gerenciamento de certificado ISO 15118	Este bloco funcional fornece a instalação e atualização de certificados ISO 15118.
N.	Diagnóstico	Este bloco funcional descreve a funcionalidade que permite a um CSO solicitar e rastrear o upload de um arquivo de diagnóstico de uma estação de carregamento e gerenciar o monitoramento dos dados da estação de carregamento.
O.	Exibir mensagem	Com o recurso Exibir mensagem, o OCPP permite que um CSO exiba uma mensagem em uma estação de carregamento, que não faz parte do firmware da estação de carregamento. O CSO obtém controle sobre essas mensagens: o CSO pode definir, recuperar (obter), substituir e limpar mensagens.
P.	Transferência de dados	Este bloco funcional descreve a funcionalidade que permite que uma parte adicione comandos personalizados ao OCPP, ativando a extensão personalizada ao OCPP.

Fonte: Autor, adaptado de Open Charge Alliance, (2021)

De acordo com o protocolo OCPP, o sistema de cobrança pode ser dividido em duas partes principais, o Sistema Central e o Ponto de Carregamento. Um ponto de carga pode ter vários conectores para se conectar a vários veículos elétricos. A principal função do protocolo é realizar o transporte entre o Sistema Central e o Ponto de Carregamento, de forma que o estado e os parâmetros correspondentes a cada comunicação OCPP do Ponto de Carregamento fiquem sob o controle do Sistema Central.

Pode-se ainda haver muitos usos diferentes para o carregamento, descritos na documentação do protocolo no formato de casos de uso. A figura 21 abaixo exemplifica o como as transações OCPP são documentadas.

Figura 21- Caso de uso de configuração da eletrobomba .



Fonte: Han, et al., (2016)

4.1 Avaliação do protocolo no ambiente de redes inteligentes

Embora existam vários artigos científicos citando o protocolo OCPP, são poucos que efetivamente têm este protocolo como foco de pesquisa.

Schmutzler, et al. (2013) descrevem uma revisão do estado da arte atual na padronização ISO / IEC do Interface V2G e, além disso, detalham como o OCPP poderia alavancar os esforços de padronização existentes para a rede de

automação da IEC 61850, a fim de superar suas deficiências (SCHMUTZLER, ANDERSEN e WIETFELD, 2013).

Hu, et al. (2016) apresentaram uma revisão e classificação de métodos para carregamento inteligente, de veículos elétricos para operadores de frota, onde foram introduzidos modelos de dinâmica da bateria e padrões de direção de veículos elétricos, padrões de carga e comunicação; e por último, três estratégias de controle e seus algoritmos comumente usados.

A fim de encontrar o melhor método para predição do comportamento de carregamento de veículos elétricos a fim de otimizar o cronograma de carga, Chung, et al., (2019) discutem vários algoritmos de aprendizado de máquina comumente usados para prever o comportamento de carregamento, incluindo a duração da permanência e o consumo de energia com base em registros históricos de carregamento. Os resultados mostraram que a programação de cobrança combinada com a previsão da EPA pode reduzir 27% da carga de pico, 10% da variação de carga e proporcionar 4% de redução de custo, em comparação com a cobrança não coordenada, e poderia ser utilizada em conjunto com OCPP.

4.2 Implementações

Ao longo dos últimos anos, alguns trabalhos sobre implementações de sistemas de gerenciamento baseados em OCPP foram publicados. Zhao, et al., (2017), descreveram as principais características do protocolo OCPP1.6 e desenvolveram um sistema através de um servidor para que a Central utilizando as tecnologias JSP (Java Server Pages), MySQL, HTML, CSS e JavaScript ,

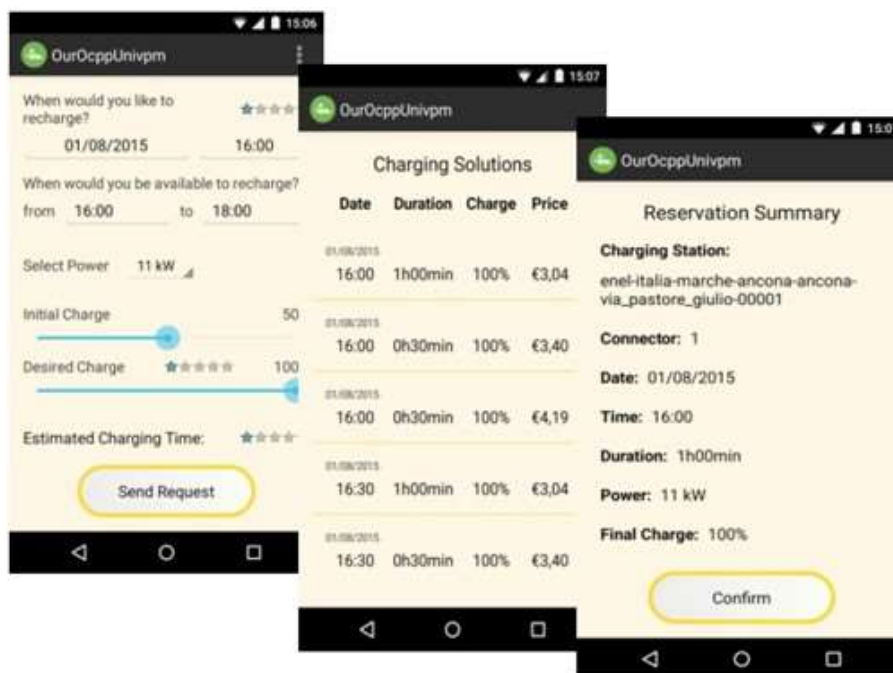
Na referência (Pruthvi et al, 2019), foi desenvolvida, além de uma revisão das funcionalidades do OCPP, uma aplicação baseada no OCPP versão 2.0, usando a linguagem de programação Java, devido a facilidade de implementação e a interface gráfica do usuário

Em um outro estudo, Orcioni, et al., (2018)., focou-se no gerenciamento da carga de veículos elétricos integrado ao sistema *Vehicle-To-Grid*, onde esta operação regulada é descrita no padrão OCPP versão 1.6, porém com função adicional de reserva de estação de carga como uma extensão do protocolo OCPP. O usuário pode reservar a estação de carregamento antecipadamente, negociando os parâmetros da tarifa: hora inicial, duração, local, preço,

porcentagem da tarifa final, energia necessária. Para tanto, foi desenvolvido um aplicativo para smartphone Android que permite ao cliente controlar completamente o processo de reserva e cobrança em todas as suas fases

A figura 22 ilustra o aplicativo em suas 3 páginas: na primeira, tem-se a seleção dos da data e hora de interesse do cliente, potência e faixa de carga aceitável. Na segunda tela, tem-se as propostas de data, hora, carga e o custo para aquele evento. Finalmente, na terceira página, tem-se o resumo da operação solicitada.

Figura 22- Telas do Aplicativo para reserva de eletropostos.



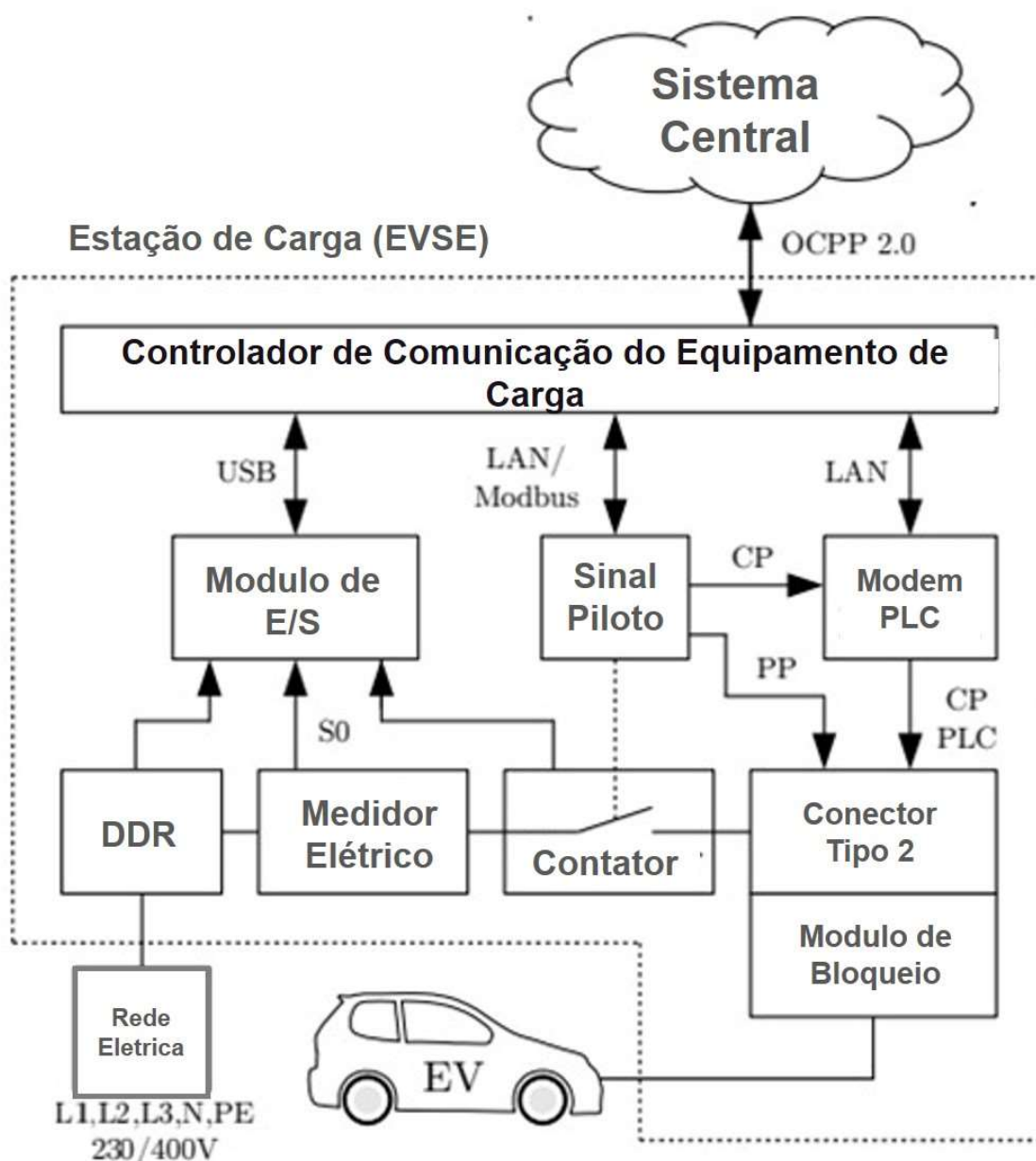
Fonte: Orcioni et al (2018)

Na referência Wellisch, et al.,2015, os autores trabalharam no desenvolvimento de *hardware* e *software* de um eletroposto de carga em corrente alternada inteligente com comunicação de veículo para a rede, usando os protocolos OCPP 2.0 (ainda em desenvolvimento em 2015) e no padrão ISO 15118. Concluem que com estes protocolos, a base para soluções de cobrança inteligente já estaria estabelecida, mesmo que nem todos os padrões estivessem finalizados.

A figura 23 ilustra o conceito de *hardware* para o desenvolvimento de uma estação de carga, onde o circuito de alimentação da estação de carregamento consiste em um dispositivo de proteção de corrente residual (RCD), um circuito

disjuntor para proteção de linha, uma contatora e um conector tipo 2. O Controlador de Comunicação de Equipamento de Fornecimento (SECC) é baseada em ARM, e é responsável em controlar o processo de carregamento e seu software implementa o protocolo de comunicação OCPP 2.0. O medidor registra o consumo de energia durante o processo de carga. O módulo de entrada / saída (I / O) interpreta o medidor elétrico, monitora o status do RCD, o disjuntor e o contator para informar o operador sobre o estado da estação de carga

Figura 23- Padrões de interface de veículos elétricos.



Fonte: Adaptado de Wellisch, et al. (2015)

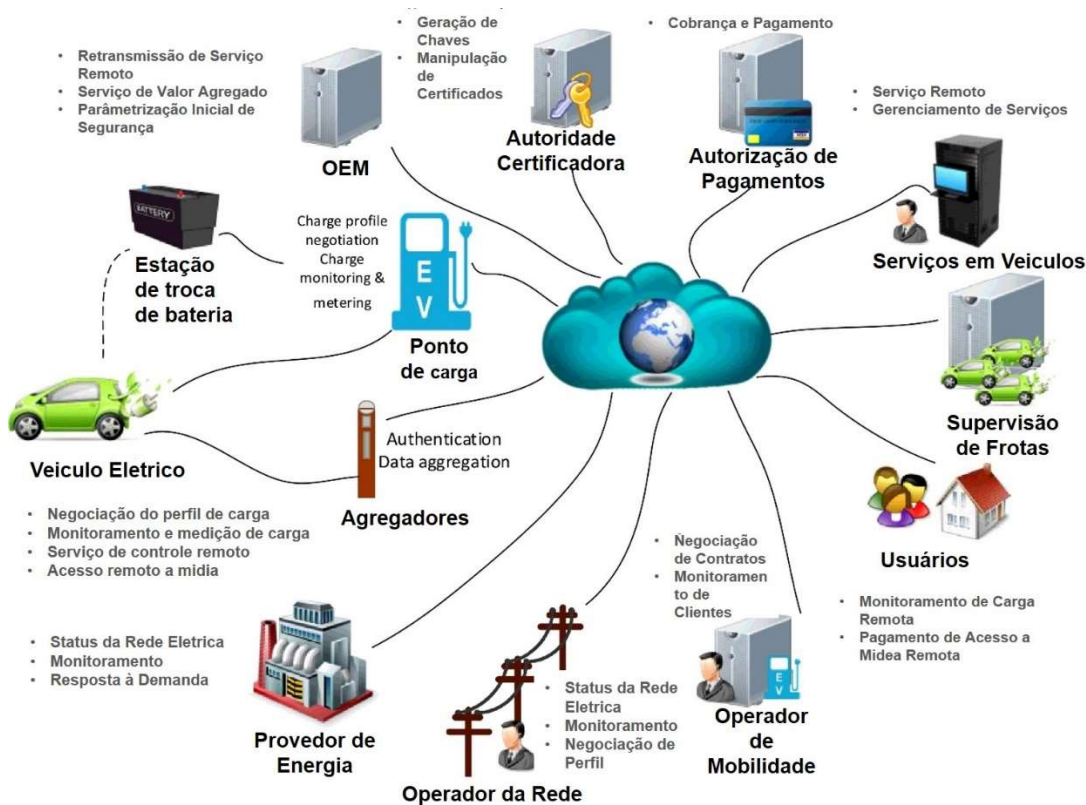
4.3 Aspectos de Segurança

Os aspectos de segurança são uma preocupação atual no contexto acadêmico e mercadológico.

Han, et al., (2016) descreveram, em sua revisão, que os problemas de preservação da privacidade nas redes V2G podem ser mais graves do que em outras partes das redes elétricas inteligentes, devido à sua mobilidade eletrônica. Os autores analisaram trabalhos de pesquisa, com base nas técnicas existentes de preservação da privacidade, que abordam vários problemas de preservação da privacidade nas redes V2G, incluindo autenticação anônima, privacidade de localização, privacidade de identificação, agregação de dados ocultos, cobrança e pagamento com preservação da privacidade e publicação de dados com preservação da privacidade.

A figura 24 ilustra infraestrutura de redes V2G, incluindo serviços de energia para os veículos elétricos e serviços de valor agregado. Os componentes incluem a Autoridade de Certificação (CA), Autoridades de pagamento, serviço de veículo, ponto de carregamento

Figura 24- Infraestrutura e componentes de segurança em uma rede V2G .



Fonte: Adaptado de Han, et al., (2016)

Alcaraz, et al. (2017) avaliaram as principais propriedades de segurança do OCPP versão 1.6 já implementadas na especificação, determinando comunicação entre pontos de carregamento e gerenciamento de energia sistemas. Argumenta-se que possíveis intervenções com fim malicioso podem levar à desestabilização da rede de energia. Diversos cenários foram avaliados, esses ataques podem até ser replicados amplamente, resultando em excesso ou falta do provisionamento da rede de energia de forma parcial ou total, degradação da integridade e estabilidade da rede de energia elétrica.

Este trabalho é referenciado na literatura atual em trabalhos relacionados à segurança em redes inteligentes (ABDELAZIZ, 2020) e em segurança de redes veiculares (EL-REWINI, 2020). A tabela 6 resume as análises de segurança realizadas por Alcaraz, et al. (2017), e a influência das diversas ameaças nos serviços finais, observando cuidadosamente a disponibilidade, integridade e confidencialidade das comunicações, bem como o provisionamento de energia para os usuários finais.

Tabela 6 - Ataques e impacto no contexto OCPP

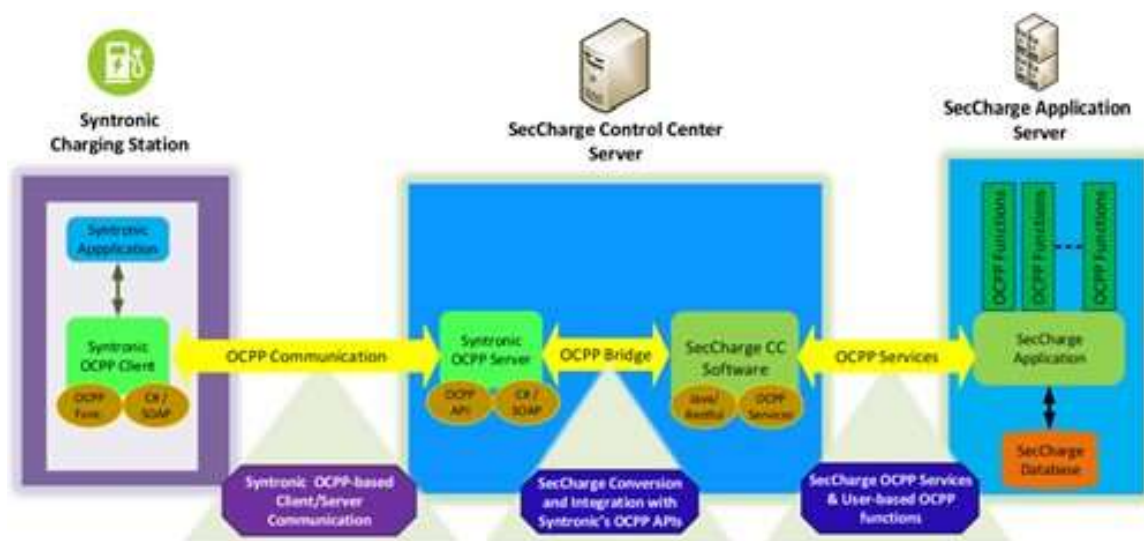
	Threats _A (a,c) ^a			Threats _A (e)			Impact on			
	Disrupt	Distort	Disclosure	Disrupt services	Overloading	Energy Theft	Control - CS-CP	Asset - CP	User - EV	Power grid
MitM	◊	◊	◊	*	*	*	<	<	<	<
Impersonation		◊		*	*	*	<	<	<	<
over-/undershooting		◊		*	*	*				<
Abuse of off-line	◊			*	*	*	✓	✓	✓	✓
Data tampering		◊		*	*	*	<	<	<	<
Fraud/energy theft		◊		*	*	*			✓	✓
False injection		◊		*	*	*	✓	✓	✓	✓
On-path att.	◊	◊		*			✓			
Render useless	◊			*			✓	✓	✓	✓
Redirect traffic	◊	◊	◊				✓			
Byzantine faults	◊	◊	◊	*	*	*	✓	✓		
APT's	◊	◊	◊	*	*	*	✓	✓	✓	✓
Stealth Att. ⊂ APT's	◊	◊	◊	*	*	*	✓	✓	✓	✓
Side-channel att.			◊	✓			✓			
Covert-channel att.			◊				✓			
Passive traffic an.			◊				✓	✓	✓	
Deliberate expos.			◊				✓	✓	✓	✓
Web/TCP-IP	◊	◊	◊	*	*	*	✓	✓	✓	✓
DoS	◊			*			✓	✓		✓
DoES				✓						✓
de-synchronization	◊	◊		*			✓	✓		✓
Physical att.	◊			✓			✓	✓	✓	✓
Jamming ⊂ Phys. att.	◊			*			✓	✓	✓	✓
Replacement		•		*	*	*	✓	✓	✓	✓

^a◊: has influence in *a* and *c*, and • and ◊: impact on *a* and on *c*, respectively.

Fonte: Alcaraz et al, (2017)

Já Vaidya, et al., (2018) propõem um sistema de gerenciamento inteligente para infraestruturas públicas de cobrança de carregamento em cidade inteligente. Denominado de *SecCharge*, sua implementação usando OCPP visa fornecer soluções abrangentes e segura para um gerenciamento inteligente, coordenado e eficiente para carregamento de veículos elétricos. O sistema é baseado em um servidor centralizado que gerencia com segurança atividades relacionadas à cobrança. A figura 25 ilustra a proposta do sistema *SecCharge*, a qual consiste em um servidor intermediário que converteria o protocolo OCPP para uma classe de serviços OCPP.

Figura 25- Diagrama de integração *SecCharge* em uma estação de carregamento.



Fonte: Vaidya & Mouftah, (2018)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme citado anteriormente, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de redes em sistemas de gerenciamento de carga de veículos elétricos baseados em protocolo de padrão aberto, especificamente o protocolo OCPP, quando submetido a variações dos parâmetros de qualidade de serviço. Para tanto, é necessário entender o cenário do carregamento. A figura 26 ilustra os 3 elementos do sistema: o veículo elétrico, que será tratado como EV, a eletrobomba, denominada de EVSE e a central de gerenciamento de carga ou CPO. Pode-se observar os 2 principais protocolos utilizados para a comunicação de dados entre o EV e o EVSE, que são o ISO15118 e o IEC61851. Por último, tem-se o protocolo OCPP, responsável pela comunicação entre o EVSE e o CPO, sendo que este protocolo é o foco da investigação deste trabalho.

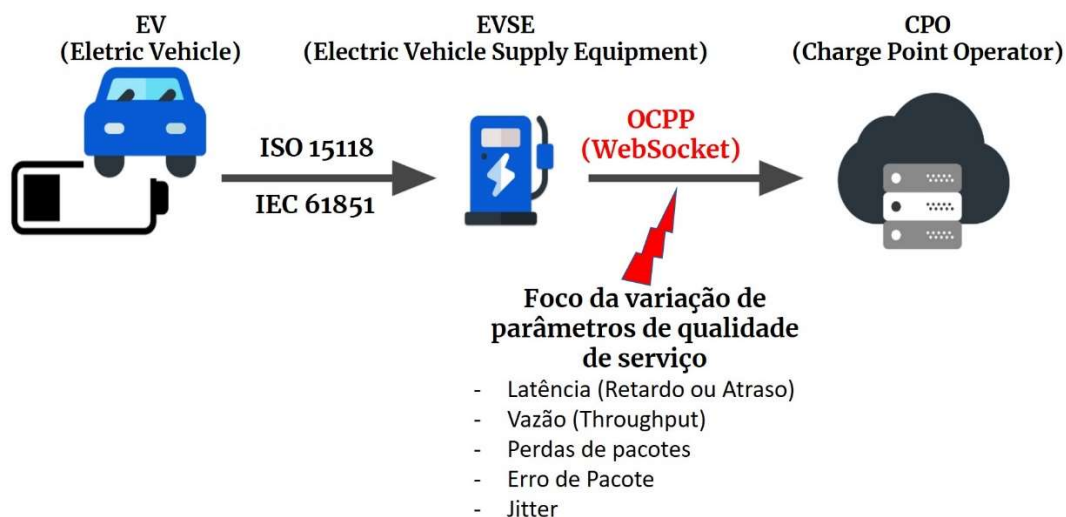
Figura 26- O cenário de carregamento do veículo elétrico.



Fonte: Adaptado pelo autor, de van Amstel et al, (2016)

Com o cenário inicial estabelecido, delimita-se o objeto de estudo para o trecho de rede de dados que interliga o EVSE e o CPO. Pode-se observar na figura 27, que serão geradas variações nos parâmetros de qualidade de serviço entre a eletrobomba e a central de gerenciamento. Estas variações se darão através das mudanças dos parâmetros de latência, vazão, perdas de pacote, erros de pacote e jitter, com base na RFC 2544 (IETF, 1999) que trata da metodologia de benchmarking para dispositivos de interconexão de rede.

Figura 27- Foco da investigação do trabalho.



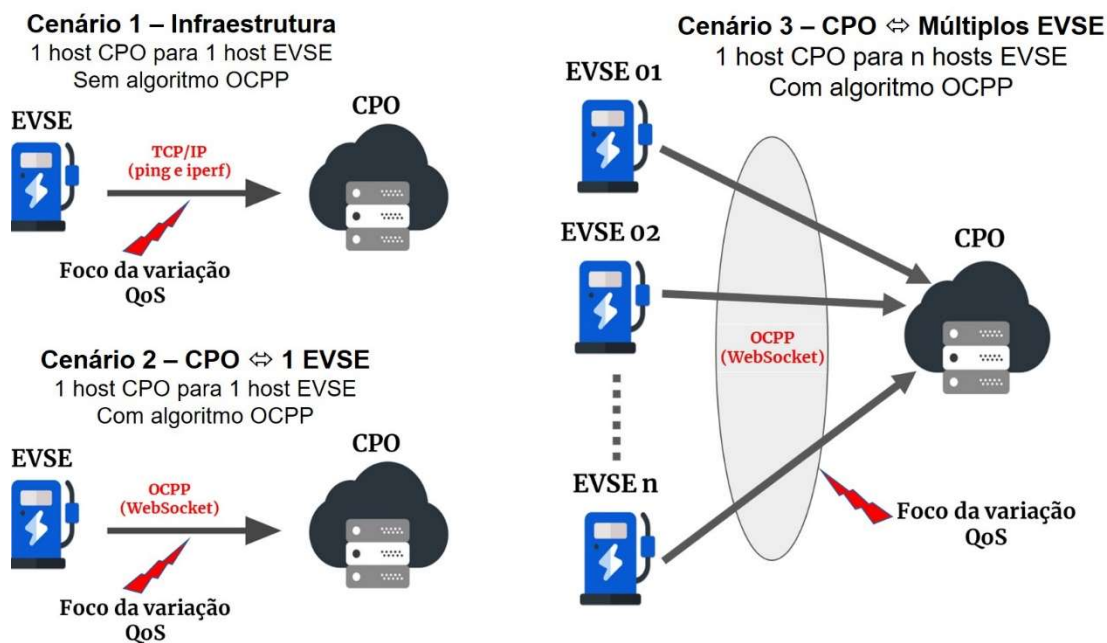
Fonte: Autor (2021)

Para viabilizar esta arquitetura, a implementação é dividida em 2 partes:

- (I) Uma infraestrutura composta por um *host* emulando a central de gerenciamento e um *host* emulando a eletrobomba (*host* este podendo ser expansível para vários outros com as mesmas características). Esta infraestrutura foi implementada através de duas ferramentas de virtualização de redes de dados: a primeira baseada em máquinas virtuais e a segunda composta por containers.
- (II) Dois algoritmos, um simulando a eletrobomba, e um segundo, simulando a central de gerenciamento, ambos se comunicando através de um conjunto de transações OCPP.

Com a implementação da arquitetura funcional, estabeleceu-se três cenários de teste ilustrados na figura 28

Figura 28 Cenários de teste



Fonte: Autor, (2021)

Cenário 1: Comunicação entre o host CPO e um único *host* EVSE e utilizando somente ferramentas tradicionais de avaliação de rede como ping e iperf. O propósito deste ensaio é estabelecer um comparativo de funcionamento entre as diferentes tecnologias de virtualização quando submetidas a diferentes parâmetros de QoS, utilizando os parâmetros aquisitados de RTT, *Jitter* e *Bandwidth* e sem a influência do algoritmo OCPP.

Cenário 2: Ainda se comunicando entre o host CPO e um único *host* EVSE, porém capturando o tempo de comunicação OCPP (tempo de envio de uma mensagem do EVSE para o CPO e sua devida resposta do CPO para o EVSE) através de uma rotina de log implementada nos algoritmos de simulação. O propósito deste ensaio é estabelecer um comparativo de funcionamento entre as diferentes tecnologias de virtualização quando submetidas a diferentes parâmetros de QoS, verificando a influência do algoritmo alvo.

Cenário 3: Agora se estabelece a comunicação entre o host CPO e múltiplos *hosts* EVSE, ainda capturando o tempo de comunicação OCPP através da mesma rotina de log utilizada no cenário 2. O propósito deste ensaio é estabelecer um comparativo de funcionamento da tecnologia de virtualização container, quando se incrementa a quantidade de eletrobombas conectadas a

uma central de gerenciamento (escala a aplicação). Cenário este exposto a diferentes parâmetros de QoS.

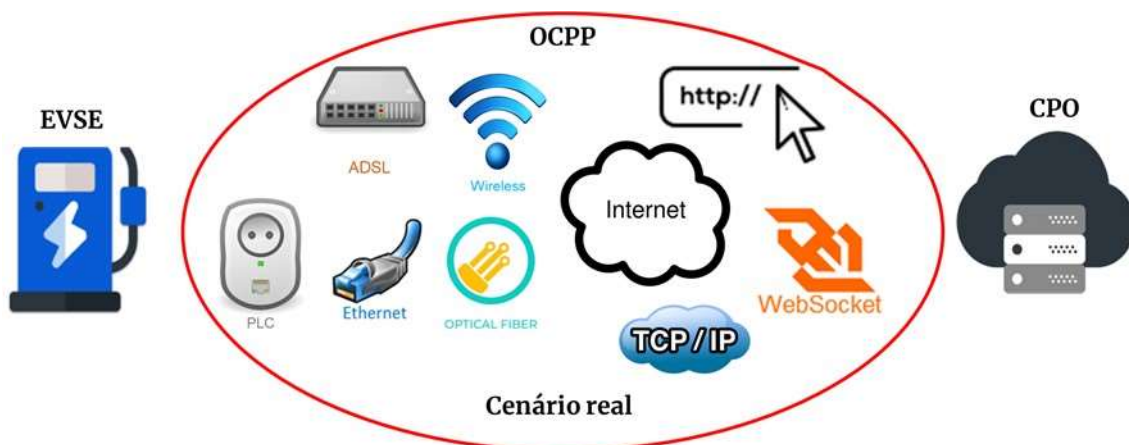
As próximas seções se propõem a descrever os elementos referentes às fases de desenvolvimento, tanto da infraestrutura através de máquinas virtuais e containers, quanto do desenvolvimento dos algoritmos CPO e EVSE através da linguagem Python e da biblioteca OCPP.

5.1 A Infraestrutura

A infraestrutura utilizada para o sistema se baseia em uma rede isolada com 2 grupos de nós: o primeiro emula a eletrobomba e o segundo a central de operações. Ambos os grupos devem ser capazes de emular múltiplos nós, para se criar um cenário mais real.

A figura 29 apresenta os principais componentes relacionados com a infraestrutura do protocolo, como alguns tipos de conexões como PLC (*Power line Communications*), ADSL (*Assymetrical Digital Subscriber Line*), fibra ótica, sistemas sem fio, como Wi-Fi, e protocolos de sistemas móveis como LTE (*Long Term Evolution*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) ou GPRS (*General Packet Radio Services*).

Figura 29- Descrição dos componentes físico-lógicos da infraestrutura

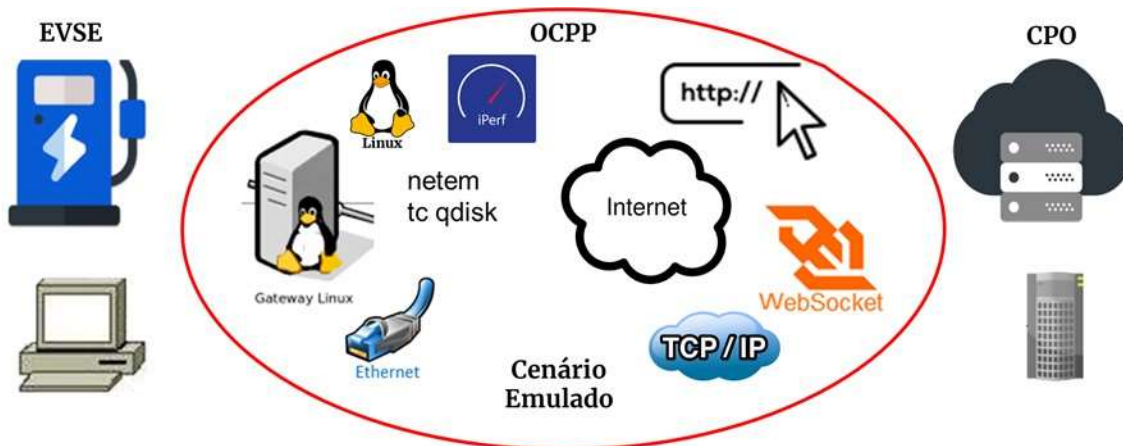


Fonte: Autor, (2020)

Para se criar o ambiente com a opção de injeção de alterações nos parâmetros de latência, vazão, jitter, perda de pacote e erro de pacote, optou-se pelo sistema operacional Linux, pois já possui ferramentas nativas no kernel de rede para este fim.

Na figura 30 observa-se a substituição das interfaces físicas pela inserção de uma estrutura de gateway, a partir de ferramentas providas pelo kernel de rede do sistema operacional.

Figura 30- Descrição dos componentes para emulação da infraestrutura



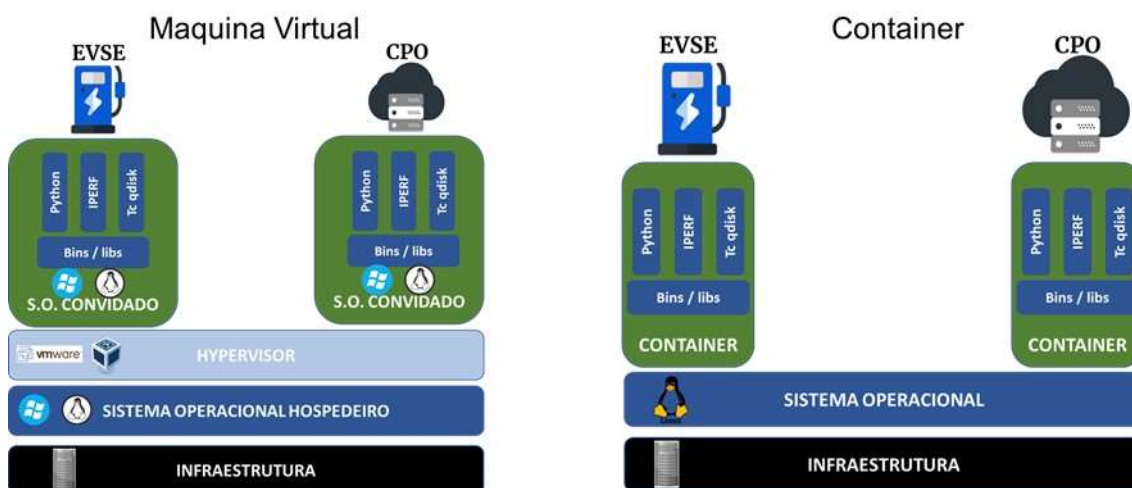
Fonte: Autor, (2020)

Após estar estabelecida a metodologia para emular as características dos diversos canais de comunicação, vê-se a necessidade de poder emular tanto os hosts, representados pelo CPO e as diversas EVSEs que podem se encontrar no campo, quanto as redes que interconectam estes hosts. Neste contexto, as tecnologias de virtualização se apresentam como uma proposta viável.

Nesse contexto, se tem 2 opções para a virtualização do sistema: máquina virtual que, embora seja mais exigente nos requisitos de hardware, é mais fácil para se configurar; e Container, que embora seja menos exigente no requisito de hardware, solicita uma minúcia maior nos detalhes dos elementos da rede para sua implementação.

Pode-se observar, na figura 31, os 2 conceitos de virtualização mais utilizados e onde foram inseridas, em ambos os casos, as ferramentas para a emulação prevista no escopo deste trabalho. A máquina virtual, através do Hipervisor oferece um alto isolamento, com processamento computacional estático como memória e recursos de CPU isolados, além de persistência em disco. Por outro lado, os containers oferecem um isolamento baixo, baseado no compartilhamento de kernel, tendo recursos mais escassos, executando somente o sistema operacional do host, porém podendo escalonar recursos da máquina como CPU e memória, mas sem persistência de dados.

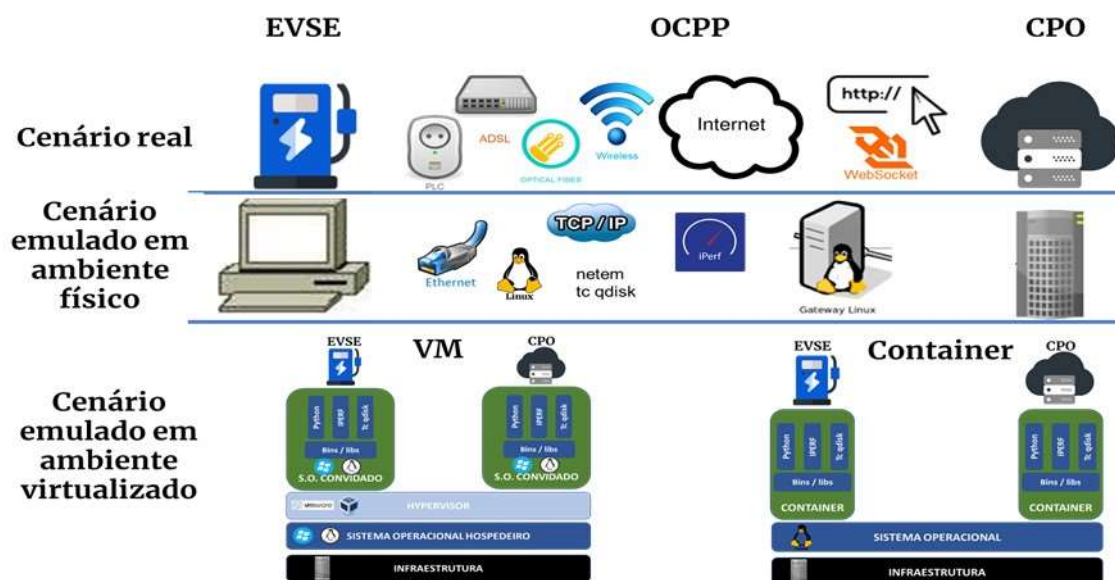
Figura 31- Descrição do ambiente físico da infraestrutura



Fonte: Autor, (2020)

Pode-se observar, na figura 32, um resumo da reprodução do cenário de comunicação OCPP e seus componentes, desde o cenário real, passando pela emulação baseada em um *gateway* Linux, até chegar aos ambientes virtualizados através de máquinas virtuais ou containers, apresentando, desta forma, dois ambientes de infraestrutura.

Figura 32- Descrição do ambiente físico da infraestrutura



Fonte: Autor, (2020)

5.1.1 A Máquina virtual

O desenvolvimento da infraestrutura utilizando máquina virtual foi baseado em uma imagem Ubuntu 18.04 LTS, e operada através de um

VirtualBox management, versão 6.1 em um host com sistema operacional Windows 10.

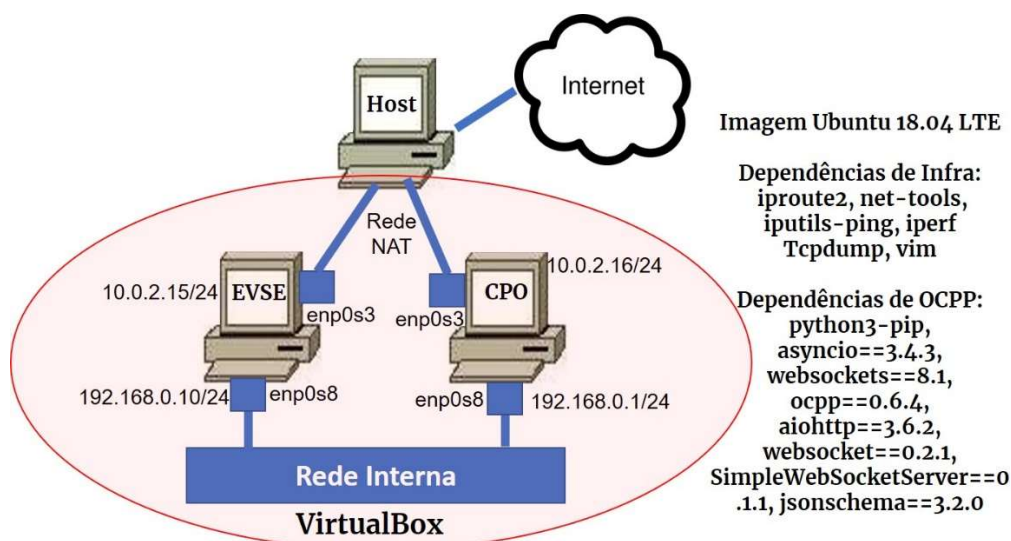
A primeira interface de rede (enp0s3) da máquina virtual foi configurada como NAT, para que se tivesse acesso a rede externa para atualização de pacotes. Também foi configurada uma segunda interface de rede na máquina virtual (enp0s8), em modo rede interna, com o intuito de limitar o tráfego de dados somente para os ensaios propostos.

Os dados adquiridos para futura análise foram persistidos na própria máquina virtual e, posteriormente, transferidos para a máquina host por meio de drivers compartilhados, outro recurso do VirtualBox.

Para as investigações no tocante à infraestrutura, foram instaladas as seguintes dependências: iproute2, net-tools, iputils-ping, iperf Tcpdump e vim. Já para a operação do algoritmo, foram instalados os seguintes pacotes: python3-pip, asyncio==3.4.3, websockets==8.1, ocpp==0.6.4, aiohttp==3.6.2, websocket==0.2.1, SimpleWebSocketServer==0.1.1, jsonschema==3.2.0.

Para finalizar, os algoritmos de simulação do protocolo OCPP e o script slow.sh, este responsável pela configuração dos parâmetros de qualidade de rede, foram baixados do repositório GitHub do projeto OCPP_PUCCAMP (ROSA NETO, 2021), diretamente para a máquina virtual. Finalmente, utilizou-se a ferramenta Clone do VirtualBox, pois a imagem da máquina virtual é idêntica para o CPO e os EVSEs. A figura 33 ilustra a estrutura da máquina virtual.

Figura 33- Detalhamento dos dados de criação das máquinas virtuais



Fonte: Autor, (2021)

5.1.2 O Container

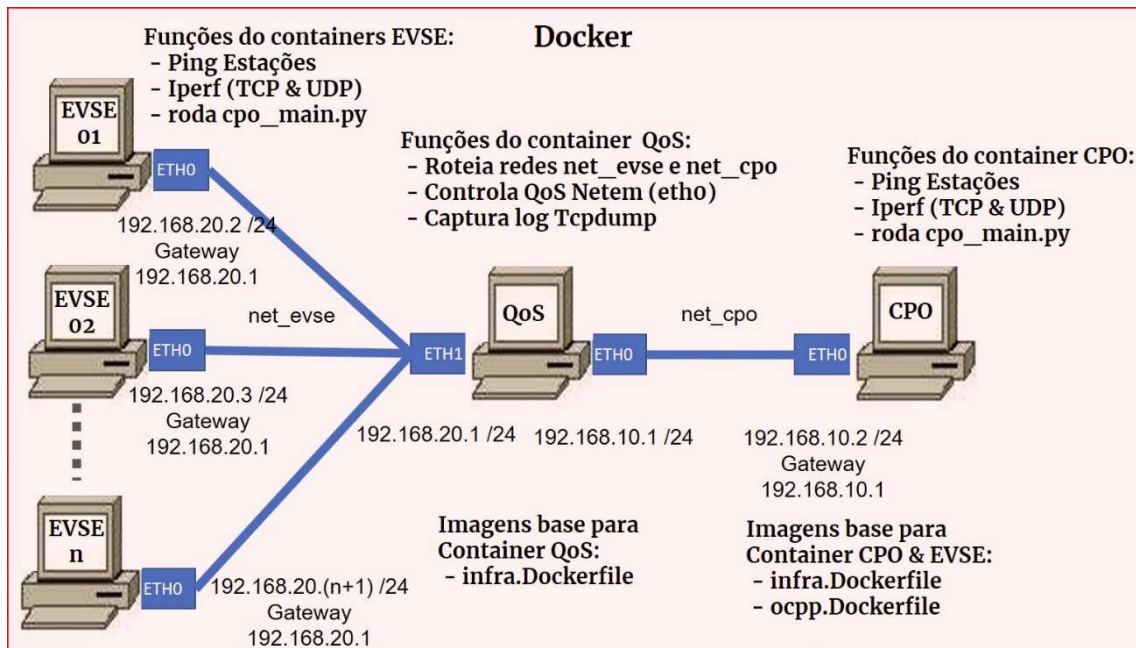
Já para o desenvolvimento da infraestrutura baseada em container, utilizou-se o Docker versão 20.10.00 em um sistema operacional host Ubuntu 20.04 LTS. A imagem de referência foi uma Ubuntu oficial em sua última versão LTS, liberada no DockerHub (20.04), e os containers usados seguem esta versão.

Com relação à rede, optou-se pela abstração bridge, para limitar o tráfego somente ao experimento. Já a arquitetura, segmentou-se em duas redes isoladas: a `net_cpo`, no domínio 192.168.10.0/24, que conecta o container CPO ao Container QoS e a `net_evse`, no domínio 192.168.20.0/24, que agrega todos os containers EVSE ao container QoS.

O container QoS possui duas interfaces de rede e é baseado na imagem `infra.Dockerfile`, pois possui apenas atribuições de infraestrutura, não participando diretamente das transações OCPP. Suas funções incluem rotear as redes `net_cpo` (`eth0`) e a `net_evse` (`eth1`), capturar os dados das transações via `Tcpdump` e inserir parâmetros de qualidade de serviço na interface por meio da interface `eth0`, redirecionando os gateways para o container QoS.

Já os containers CPO e EVSE possuem uma única interface de rede (`eth0`) a qual é baseada em duas imagens: a `infra.Dockerfile`, a qual carrega todas as ferramentas de infraestrutura e depuração de redes, e a `ocpp.Dockerfile`, a qual dispõe do algoritmo de teste OCPP tanto do lado CPO, quanto do lado EVSE. Sendo assim, estes containers são diretamente responsáveis pela avaliação da infraestrutura através das ferramentas `iperf` e `ping`, como são responsáveis por rodar os algoritmos para a avaliação do OCPP. A figura 34 exemplifica a arquitetura da rede, bem como suas funções.

Figura 34- Detalhamento da arquitetura de rede à containers



Fonte: Autor, (2021)

Como a tecnologia de construção dos containers se baseia na sobreposição de camadas de funções e operações, estabeleceu-se dois níveis de abstração que podem ser observados em seus respectivos arquivos de criação de imagens ou *Dockerfile*.

O script responsável pela imagem de infraestrutura. Nota-se que a imagem foi referenciada na última versão Ubuntu disponível no repositório DockerHub (no caso, a 20.04). Estabelecida a imagem base, foram instaladas as dependências responsáveis pelas ferramentas de análise e depuração da rede. São elas: iproute2, net-tools, iputils-ping, iperf Tcpdump e vim. Por último, é copiado, do diretório de trabalho do host, o script slow.sh. Com o script Dockerfile, cria-se a imagem *infra* com o comando `docker build -t netoalceu/infra:1.1`. O script utilizado pode ser visto na figura 35.

Figura 35- Scripts Dockerfile para criação das camadas de infraestrutura e OCPP

infra.Dockerfile	ocpp.Dockerfile
FROM ubuntu:latest	FROM netoalceu/infra:1.1
# Camada de Infra para testes de rede	# Camada de Infra para testes de rede
RUN apt update && apt install -y iproute2 \	RUN apt update && apt install -y python3-pip -y && \
net-tools \	pip3 install asyncio==3.4.3 \
iputils-ping \	websockets==8.1 \
iperf tcpdump \	ocpp==0.6.4 \
vim && rm -rf /var/lib/apt/lists/*	aiohttp==3.6.2 \
	websocket==0.2.1 \
COPY scripts/slow.sh /usr/local/sbin/	SimpleWebSocketServer==0.1.1 \
	jsonschema==3.2.0 && rm -rf /var/lib/apt/lists/*
	# Camadas de copia de arquivos e diretorios app
	COPY /src /app/src
	COPY cpo_main.py /app
	COPY evse_main.py /app
	COPY /scripts/start.sh /app
	#Variaveis de Ambiente EVSE (Padrão)
	ENV CHARGER_URL="ws://172.17.0.2:9000/"
	ENV QNT_METER=1000
	ENV CP_ID=CP_Base
	ENV ADD_GATEWAY=192.168.20.1
	ENV DEL_GATEWAY=192.168.20.254
	ENV OCPP_APP=evse_main.py
	WORKDIR /app

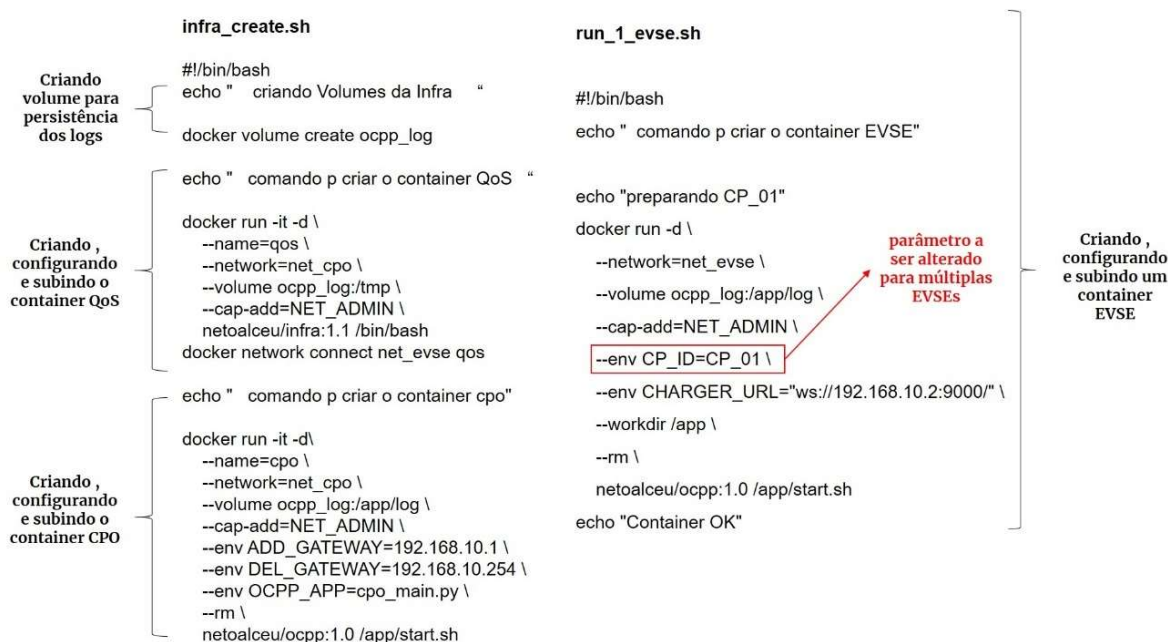
Fonte: Autor, (2021)

Do lado direito, tem-se o script responsável por inserir os elementos do algoritmo para a simulação das transações OCPP. Pode se observar que a imagem de referência agora é a infraestrutura (anteriormente criada). Já para o funcionamento do algoritmo em Python, foi necessária a instalação dos pacotes python3-pip, via gerenciador de pacotes *apt*, e, posteriormente, os pacotes asyncio==3.4.3, websockets==8.1, ocpp==0.6.4, aiohttp==3.6.2, websocket==0.2.1, SimpleWebSocketServer==0.1.1, jsonschema==3.2.0, a partir do gerenciador de pacotes *pip*. O próximo passo foi a cópia dos arquivos para o funcionamento dos algoritmos de simulação OCPP e, finalmente, a criação de variáveis de ambiente do sistema operacional que suportam a execução, ativação e operação da arquitetura. Com o script Dockerfile, cria-se a imagem infra com o comando `docker build -t netoalceu/ocpp:1.0`.

Com as imagens criadas, o próximo passo para a criação da infraestrutura foi a construção dos containers que também foi realizada via linha de comando,

sendo que facilitar o processo, também se fez uso de scripts. Na figura 36, pode-se ver os dois scripts de referência para a criação e configuração dos containers.

Figura 36- Scripts para criação dos containers QoS, CPO e EVSE



Fonte: Autor, (2021)

Do lado esquerdo, pode-se ver o script responsável pela criação do volume `ocpp_log`, e dos containers QoS e CPO. O volume é responsável pela persistência dos arquivos de log tanto do CPO quanto dos EVSEs.

A criação do container QoS se deu por meio de dois comandos: o primeiro determina o nome `qos`, anexa a interface de rede (`eth0`) para a rede `net_cpo` e o volume `ocpp_log` previamente criado. Em seguida, ativa a diretiva `NET_ADMIN`, responsável pelas permissões de acesso e operações em modo permissivo da interface `eth0` e, portanto, pode-se utilizar o `Tcpdump` e o `Netem`. Por último, cria o container que opera em segundo plano com uma interface iterativa de terminal Bash. Já o segundo comando anexa uma segunda interface de rede (`eth1`) para a `net_ocpp`.

A criação do container CPO se deu através de um único comando que determina o nome `cpo`, anexa a interface de rede (`eth0`) para a rede `net_cpo` e o volume `ocpp_log`, ativa a diretiva `NET_ADMIN` e altera os valores das variáveis de ambiente criadas na imagem OCPP para determinar o gateway da interface `eth0` e qual script Python irá executar, no caso, `cpo_main.py`. Script este que faz com que o container se comporte como um servidor de gerenciamento. Por

último, cria-se o container que opera em segundo plano, rodando o script *Start.sh*, o qual será detalhado posteriormente.

O script do lado esquerdo possui a função de criação de um ou mais containers EVSE. O volume *ocpp_log*, criado no script anterior também foi utilizado para persistência de dados nos containers EVSE.

A criação do container EVSE se deu a partir de um único comando que anexa a interface de rede (*eth0*) para a rede *net_evse* e o volume *ocpp_log*, também ativa a diretiva *NET_ADMIN* e altera os valores das variáveis de ambiente criadas na imagem OCPP para determinar o *CP_ID* (identificador único da eletrobomba e dos logs gerados) e qual o endereço IP e Porta do CPO.

O script Python responsável pelo comportamento do container como uma eletrobomba já está configurado na imagem como padrão, no caso, *evse_main.py*.

Por último, foi criado o container que opera em segundo plano rodando o script *Start.sh*, o mesmo script do container CPO, porém com variáveis de ambiente diferentes para o CPO e os EVSE.

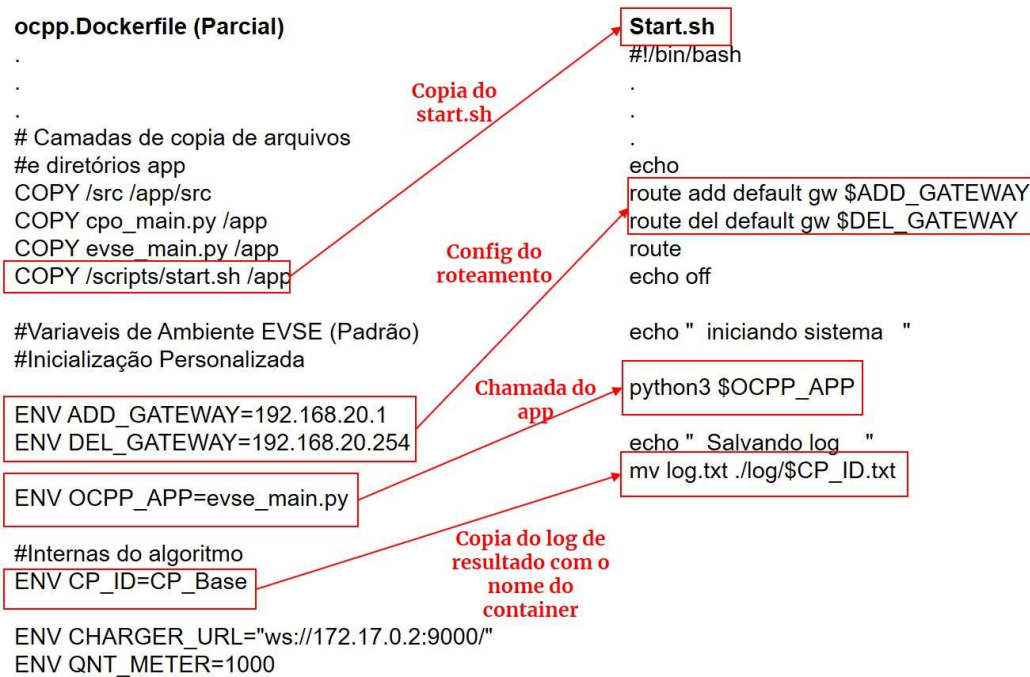
Para replicar múltiplos EVSEs, é necessário somente chamar o comando descrito anteriormente (deixar claro qual é), porém alterando o valor da variável de ambiente *CP_ID*, de forma que cada container possua um *CP_ID* único no sistema.

Um aspecto importante do funcionamento do algoritmo é a interoperabilidade entre os ambientes de virtualização, sem a criação ou alteração do código fonte em Python, a fim de não inserir eventuais perturbações no comportamento do algoritmo.

A proposta para resolver este impasse foi a criação de variáveis de ambiente que possuem duas funções: a primeira é de alterar o comportamento da infraestrutura durante a inicialização do algoritmo, como por exemplo, alterando o endereço IP do gateway ou qual algoritmo será executado (o CPO ou o EVSE). A segunda função é poder inserir alguns parâmetros de funcionamento do algoritmo em si como a quantidade de transações de medição que serão enviadas ou qual o endereço IP e porta do container CPO.

A figura 37 ilustra as relações entre as variáveis de ambiente existentes na imagem OCPP e no script *Start.sh*, responsável pela execução automática dos containers CPO e EVSE.

Figura 37- Relação entre as variáveis de ambientes do container OCPP e a o Start.sh



Fonte: Autor, (2021)

5.1.3 Emulação da qualidade de serviço

Em ambos os ambientes virtualizados, será utilizada a ferramenta NetEm, a partir de um script bash apresentado na referência (BULLINGTON-MCGUIRE, 2012). A escolha por este script vem do fato de, além de ser de código aberto, possuir parâmetros de configurações já estabelecidos e utilizados por outros desenvolvedores. A tabela 7 apresenta as principais características do script e suas opções.

Tabela 7 – Descrição e uso do script slow.sh

slow.sh		
Este script bash oferece atalhos rápidos para simular conexões de rede mais lentas. É útil quando você precisa simular uma rede sem fio em um servidor de rede Linux, especialmente quando você está usando uma máquina virtual convidada em sua máquina local ou na nuvem		
Como utilizar:		
slow <network-type> [-d device] [-b bandwidth] [-l latency] [-p drop] slow reset slow status		
Exemplos:		
slow 3G	Rede lenta no padrão eth0 até velocidades sem fio 3G	
slow reset	Redefine a conexão do padrão eth0 para o normal	
slow vsat --latency=500ms	Simula internet via satélite com alta latência	
slow dsl -b 1mbps	Simula DSL com uma velocidade mais lenta que o padrão	
slow modem-56k -d eth0	Simula um modem de 56k no dispositivo eth1. eth0 não foi alterado.	
OBS:	A unidade bps usada significa Bytes por segundo	
Comando	Largura de Banda	Latência
AMPS	14kbps	250ms
GSM	14kbps	200ms
GPRS	50kbps	200ms
EDGE	50kbps	200ms
2.5G	50kbps	200ms
3G	1000kbps	200ms
4G	10000kbps	100ms
modem-0.1k	110bps	350ms
modem-1.2k	1200bps	280ms
modem-2.4k	2400bps	250ms
modem-9.6k	9600bps	200ms
modem-14.4k	14400bps	150ms
modem-28.8k	28800bps	150ms
modem-56k	56kbps	120ms
56k	56kbps	40ms
T1	1500kbps	20ms
T3	45mbps	10ms
DSL	2mbps	40ms
cablemodem	10mbps	20ms
wifi-a	54mbps	5ms
wifi-b	11mbps	10ms
wifi-g	54mbps	5ms
wifi-n	110mbps	2ms
vsat	5mbps	500ms

Fonte: Autor (2021), adaptado de Bullington-McGuire, (2012)

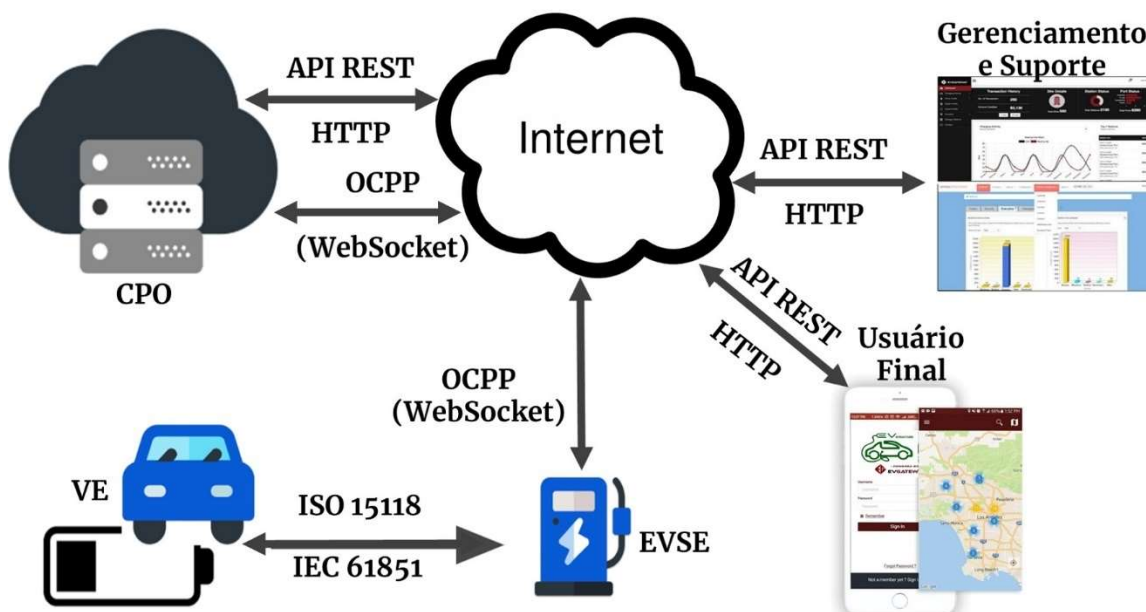
5.2 O Algoritmo de Simulação do Sistema de Carga

Qualquer sistema que exija aplicação do protocolo OCPP, terá um elevado grau de complexidade, seja devido às diferentes necessidades de negócios a serem implementadas, aos diversos canais de comunicações nas

redes de telecomunicações ou, ainda, às variações na rede de energia elétrica brasileira.

A figura 38 ilustra estas relações: tem-se o veículo em carga se comunicando com a eletrobomba via protocolos ISO 15118 ou IEC 61851. Esta comunicação estabelece, por exemplo, o nível de carregamento que veículo suporta e a variação desta carga no tempo devido à temperatura de bateria.

Figura 38- Arquitetura de um sistema típico com OCPP



Fonte: Autor, (2020)

Observa-se, também, as interfaces de negócio, podendo ser um aplicativo de celular para o dono do veículo elétrico, com o intuito de habilitar o carregamento, controlar o status da carga ou, ainda, efetuar o pagamento. Com relação às interfaces de negócio, pode existir uma interface web para a equipe do gerenciamento e suporte, com o intuito de oferecer um painel de informações sobre a saúde da rede elétrica, problemas nos carregadores, índices de operação e manutenção do sistema para mobilizar equipes de campo para manutenções ou, ainda, ocupação da rede de operação para que se possa prever expansões ou realocações das eletrobombas. Tanto a comunicação veículo com a eletrobomba, quanto as interfaces de negócio não estão no escopo deste trabalho.

O bloco chamado INTERNET, sintetiza o canal de comunicação, a partir dos diversos meios de acessos como DSL, VSat, tecnologias móveis entre

outros. Este bloco foi previamente discutido na subseção 5.1 sobre infraestrutura.

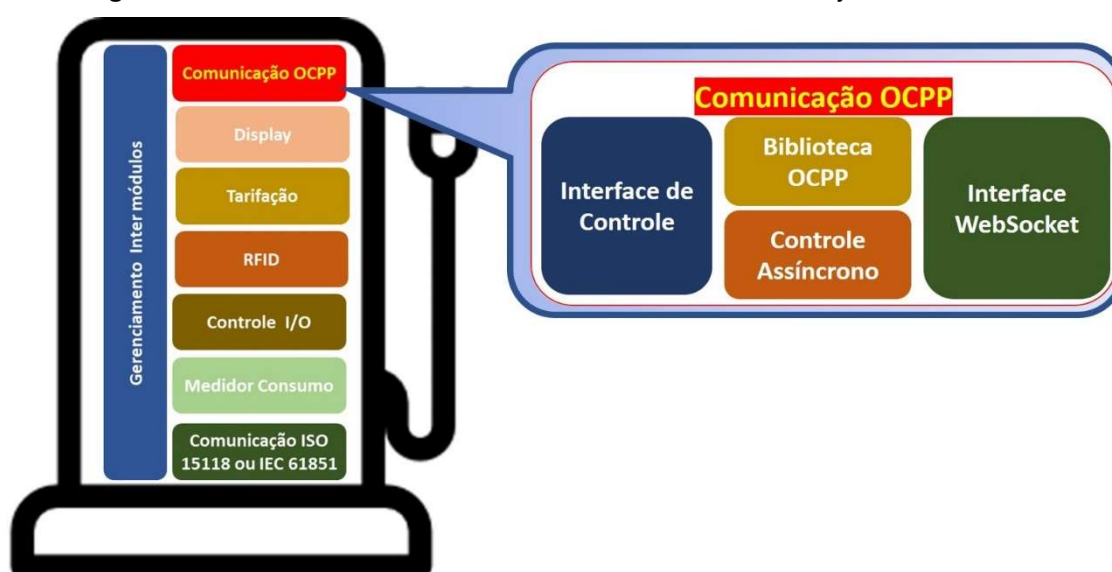
Finalmente, tem-se os softwares da eletrobomba e da central de gerenciamento, porém, antes de detalhar as especificidades do CPO e do EVSE, vale ressaltar a escolha das ferramentas utilizadas para desenvolver os protótipos dos algoritmos, utilizando como referência a Versão OCPP 2.01. Optou-se pelo Python em sua versão 3.8x e seu ecossistema devido à sua simplicidade e curva de aprendizagem acelerada (RAMALHO, 2019).

Outra característica é de já possuir uma biblioteca para comunicação OCPP (versão 0.6.4 foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho), licenciada sobre a licença MIT pela *Mobility House* ©. Dentre as características desta biblioteca está a compatibilidade com a versão OCPP 2.0.1, onde o protocolo opera sobre WebSocket. Outra característica é a operação com a biblioteca *asyncio* (versão 3.4.3) que permite estruturas assíncronas, provendo melhor desempenho no processamento das mensagens em tarefas distribuídas.

5.2.1 O EVSE

A Eletrobomba ou EVSE é o host responsável pela carga dos veículos elétricos. Trata-se de um dispositivo eletrônico, provido de capacidade computacional embarcada. A figura 39 ilustra os blocos funcionais típicos do sistema e a os subconjuntos relativos ao protocolo OCPP.

Figura 39- Blocos funcionais de uma Eletrobomba e do Subconjunto OCPP



Fonte: Autor, (2020)

- O Gerenciamento Inter módulos é responsável pela comunicação interna entre os diversos módulos de interface e a lógica da operação como pegar o código do usuário no modulo RFID, enviar para o modulo OCPP para autenticar a informação no CPO e após o retorno da autenticação, habilitar o início do carregamento via módulo de Controle I/O, ler o consumo do módulo Medidor de Consumo.
- O módulo de Comunicação ISO15118 ou IEC 61851 é responsável pela comunicação entre o veículo e a eletrobomba, negociando a quantidade de carga e lendo os status do processo e do veículo. O medidor de consumo é responsável pela medição da energia elétrica, dentro dos parâmetros estabelecidos pelas concessionárias de energia. O módulo Controle de I/O é a interface com o hardware, como a trava do conector para impedir a retirada da peça do veículo durante o processo de carga.
- O módulo RFID é responsável pela leitura de cartões RFID para habilitar o carregamento. Em sistemas mais modernos, este módulo pode ser expandido ou ainda subdividido com as mais diversas formas de serviços de conectividade da categoria PAN (*personal area network*) como NFC (*Near Field Communication*) ou ainda Bluetooth. E o módulo de Tarifação é responsável pela cobrança, através de POS (*Point-of-service*) para cartões de crédito ou débito.
- O módulo de Display é o responsável pela interface local usuário com a eletrobomba, permitindo a operação e informando seu status. Por último, o Módulo de comunicação OCPP, responsável por todas as transações de comunicação entre a EVSE e a CPO.

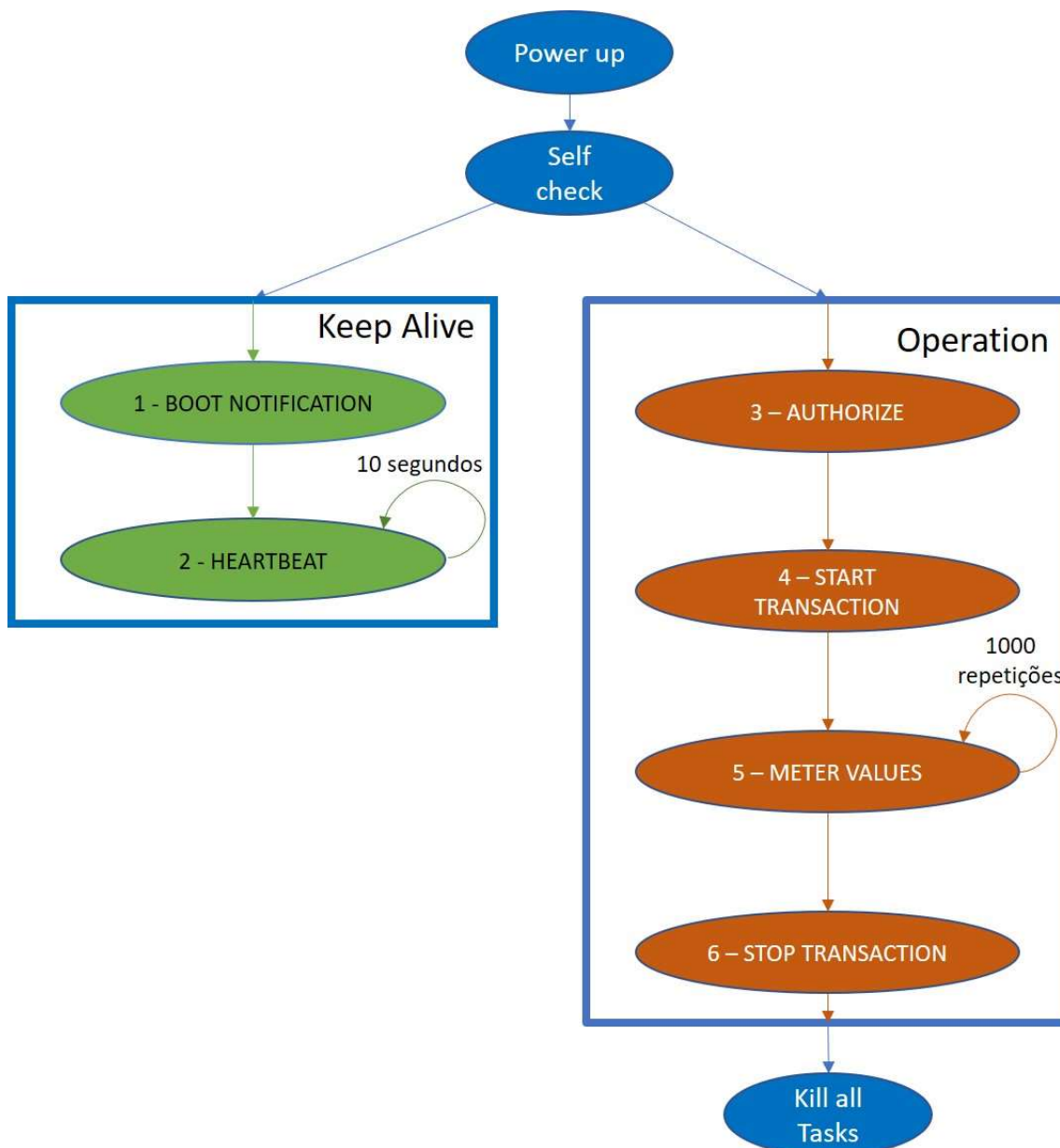
O módulo de comunicação OCPP pode ser subdividido em 4 elementos:

- Interface de controle: responsável pela conectividade com o modulo de gerenciamento Inter módulos. É através desta interface que todas as transações recebidas e solicitadas são encaminhadas do ou para o barramento de comunicação.
- Biblioteca OCPP: são as regras pelas quais as transações OCPP são reguladas. Especificadas no formato *JSON Schema*, oferecem uma forma de obter portabilidade e referência para a validação, tanto do formato das mensagens quanto da própria alteração e evolução do protocolo.

- Controle ou Controlador Assíncrono: o protocolo OCPP está sujeito a variações de tempo nas transações devido aos diversos canais aos quais sistemas remotos estão sujeitos, além do próprio tráfego de rede, acessos a arquivos remotos, banco de dados e até processamento computacional massivo. Estes controladores proporcionam um melhor gerenciamento das transações através da tratativa das tarefas por concorrência, aproveitando a ociosidade entre as requisições e respostas do sistema para efetuar outras tarefas,
- Interface WebSocket: o protocolo WebSocket é o responsável por transportar as transações OCPP, de forma opcional a partir da versão 1.6, porém obrigatória a partir da versão 2.0. Protocolo da camada de aplicação, é bidirecional e full-duplex em uma conexão TCP persistente. Suporta conexão segura (SSL/TLS) e ainda protocolos *publish/subscriber* como MQTT.

A figura 40 ilustra, a partir de uma máquina de estado, o fluxo de transações o qual o algoritmo EVSE deve executar para a simulação.

Figura 40- Máquina de estados das transações do algoritmo EVSE



Fonte: Autor, (2020)

Nessa figura, as caixas em azul representam as tarefas do algoritmo, simulando as funções mínimas do sistema:

- *Power Up*: tarefa de inicialização da eletrobomba ao ser energizada e inclui, por exemplo, a inserção dos dados de cadastro da EVSE.
- *Self Test*: tarefa de autoteste do EVSE para reportar um diagnóstico ao CPO. Esta tarefa é executada somente com o eletroposto fora de operação e pode ser executada por agendamento periódico (parâmetro nos dados de cadastro), ou ainda, solicitado de forma remota.

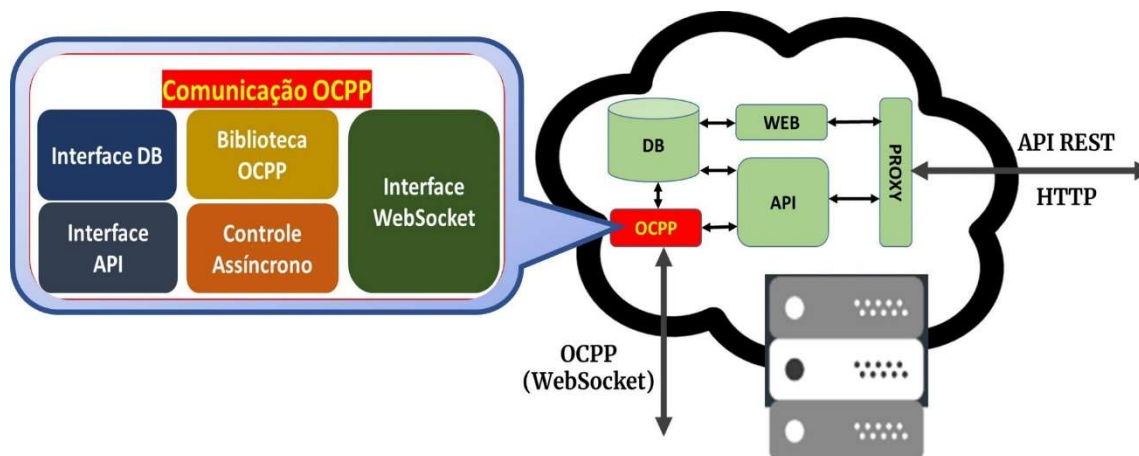
- *Keep Alive*: tarefa responsável por se comunicar periodicamente com o CPO, independente do seu estado de operação. Possui duas sub-rotinas: (a) *Boot Notification*, responsável em informar o início de funcionamento do EVSE, sincronizando os dados de operação e o (b) *Heartbeat*, responsável por enviar uma comunicação OCPP periódica informando que o EVSE está ativo ou não.
- *Operation*: a tarefa de carregamento dos veículos. Esta tarefa é subdividida em 4 sub-rotinas (a) *Authorize* é a rotina responsável em aguardar a solicitação de carga feita pelo proprietário do veículo, e validar a autorização do mesmo em efetuar a operação; (b) *Start Transaction* é responsável pela validação antes do início do carregamento como se o conector está corretamente encaixado no carro, se o carro permite a carga; (c) *Meter Values* é a rotina responsável em transmitir quais os parâmetros medidos durante a carga e (d) *Stop Transaction* é responsável em finalizar o processo de carga, cortando a contadora de carga, liberando o conector do veículo entre outras.

Como pode-se notar, as tarefas *Keep Alive* e *Operation* ocorrem de forma concorrente e permitida pela biblioteca *asyncio*. Porém, ao contrário do comportamento natural de um eletroposto real, não existe a necessidade dessas tarefas continuarem a operar após o fim de um ciclo completo de carga. Sendo assim, criou-se uma tarefa adicional denominada *Kill All Tasks*, a qual derruba todos os processos abertos na rotina de controle assíncrono, economizando processamento e memória.

5.2.2 O CPO

A Central de Gerenciamento ou CPO é o host responsável pela centralização das informações e controle da rede de eletropostos de uma determinada área geográfica. A figura 41 ilustra os blocos funcionais típicos do sistema CPO e seus subconjuntos relativos ao protocolo OCPP.

Figura 41- Blocos funcionais de uma Eletrobomba e do Subconjunto OCPP



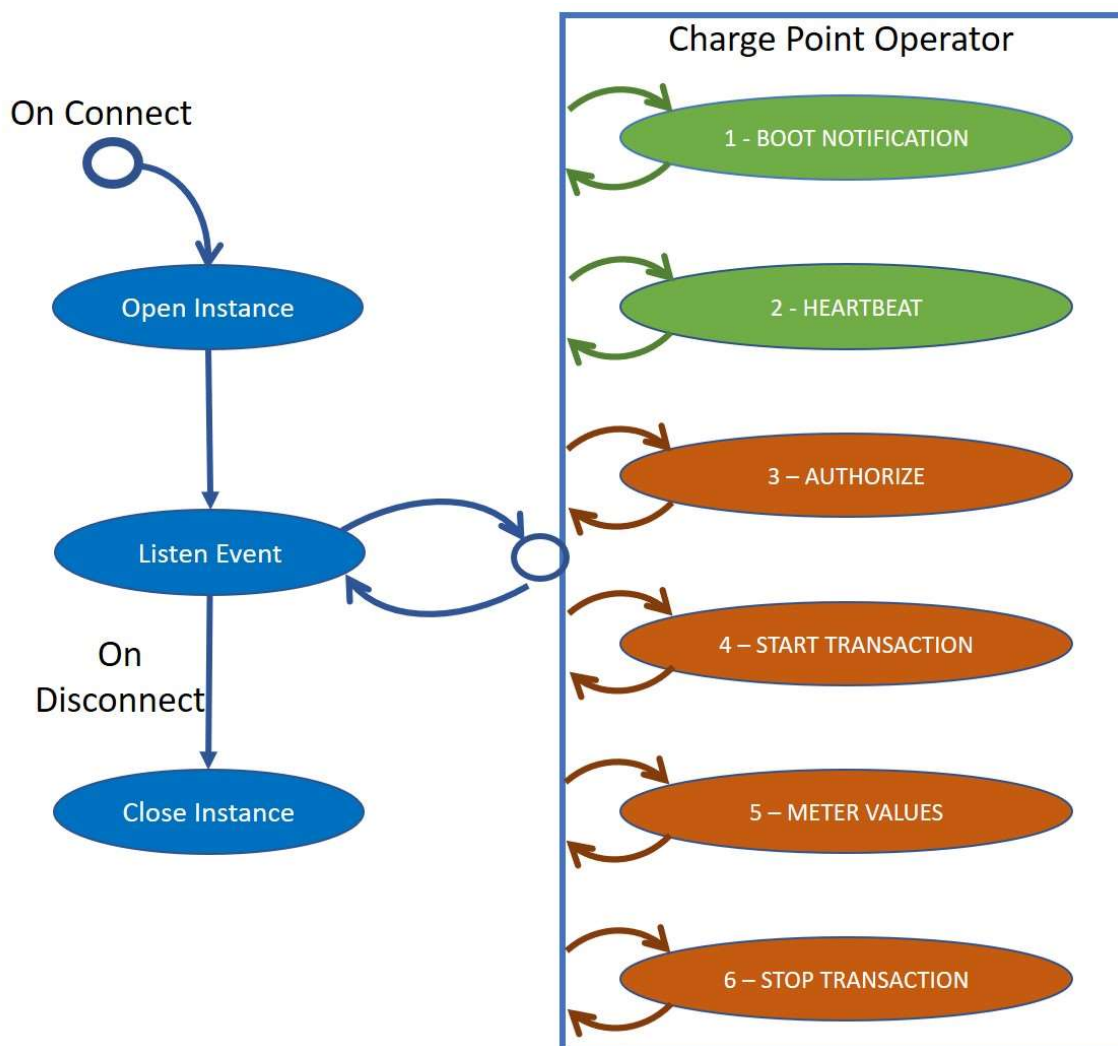
Fonte: Autor, (2020)

Embora existam inúmeras variações para um sistema como este, tipicamente possuem um banco de dados (DB) no qual as informações são armazenadas e disponibilizadas para outros serviços. O Bloco API representa os serviços disponibilizados para outros sistemas, como informações sobre o status das eletrobombas ou até o acesso remoto a uma eletrobomba específica. O bloco WEB provê a página de gerenciamento e controle do sistema, e o bloco PROXY roteia as solicitações aos blocos responsáveis, controlando o fluxo do sistema.

Com relação ao bloco OCPP do CPO, nota-se semelhanças com o bloco da EVSE. A biblioteca OCPP, o controlador assíncrono e a interface WebSocket possuem as mesmas funções já mencionadas anteriormente. A diferença se encontra na Interface de controle que foi substituída pelas interfaces de Banco de Dados e pela interface API. Em ambos os casos, o objetivo é direcionar as informações do barramento de dados às suas respectivas operações.

A figura 42 ilustra, a partir de uma máquina de estado, o fluxo de transações o qual o algoritmo CPO opera. A grande diferença está no princípio de funcionamento. Após a inicialização do sistema, uma rotina denominada *On Connect* aguarda uma requisição de conexão na porta 9000 de uma EVSE. Quando esta requisição chega, o algoritmo abre uma instância para o EVSE solicitante e, a partir deste momento, se estabelece uma conexão persistente entre estes hosts.

Figura 42- Máquina de estados das transações do algoritmo CPO



Fonte: Autor, (2020)

Porém, vale ressaltar que embora a conexão seja persistente, devido à tecnologia WebSocket, somente as mensagens do protocolo OCPP serão interpretadas. Isto é possível devido à rotina de *Listen Event*, onde a instância fica vinculada. Se alguma mensagem chega a essa rotina, ela verifica se a mensagem está presente na lista de funções do *Charge Point Operator* e caso não esteja, é simplesmente descartada. Caso a conexão seja fechada por algum problema no EVSE, a instância será encerrada.

5.3 Arranjo Experimental e Simulações

Conforme descrito na figura 28, o arranjo experimental contempla três cenários, os quais se propõe a avaliar os seguintes itens:

Cenário 1: Infraestrutura: avalia diferenças de desempenho da rede de comunicação em diferentes tecnologias de virtualização (Máquina Virtual ou Container) quando é exposta a variações de parâmetros de qualidade de serviço.

Cenário 2: CPO \Leftrightarrow 1 EVSE: avalia as diferenças de desempenho das transações realizadas pelo algoritmo do protocolo OCPP, em diferentes tecnologias de virtualização (Máquina Virtual ou Container) quando é exposto a variações de parâmetros de qualidade de serviço.

Cenário 3: CPO \Leftrightarrow Múltiplos EVSE: avalia as diferenças de desempenho das transações realizadas pelo algoritmo do protocolo OCPP, operando em uma estrutura de containers quando é exposto a múltiplas conexões EVSE operando sobre variações de parâmetros de qualidade de serviço.

A avaliação do Cenário 1 será realizada com o resultado de dados extraídos das ferramentas de rede ping e iperf na modalidade TCP. Na tabela 8 pode-se observar as ferramentas e como elas são aplicadas neste ensaio.

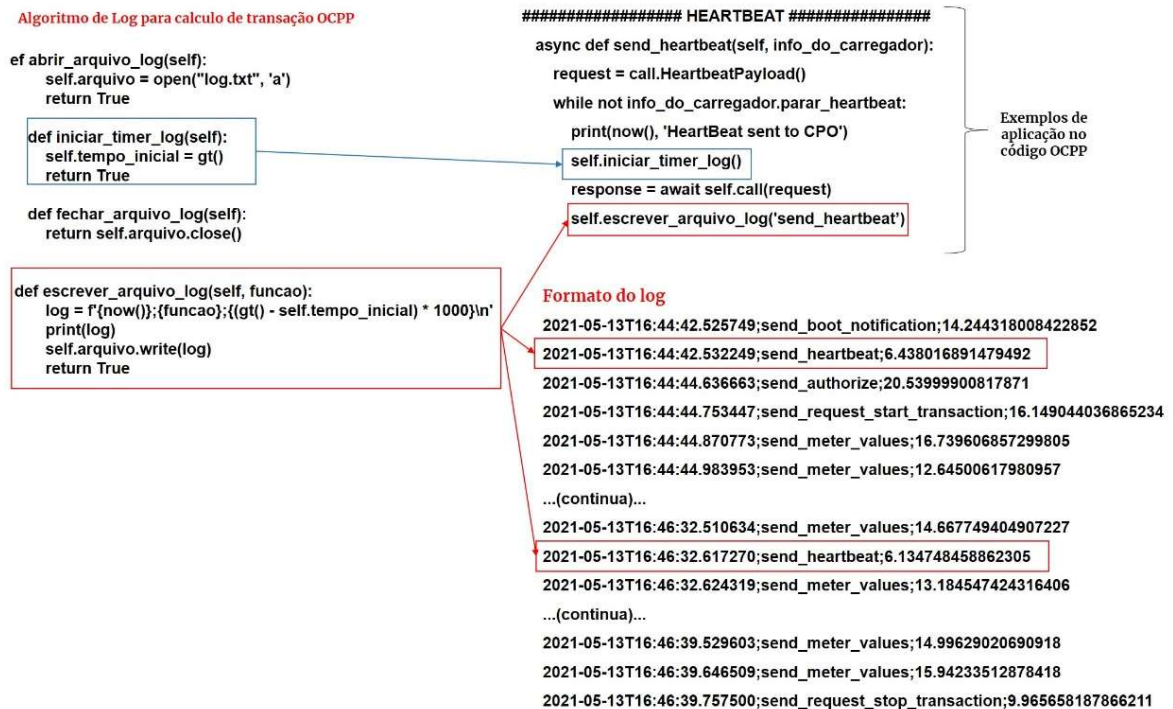
Tabela 8 – Resumo dos comandos de teste da Infraestrutura

EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment)	CPO (Charge Point Operator)
Commando ping [ip] -c 100	
EVSE => CPO	CPO => EVSE
<pre>ocpp@ocpp-Minimal:~\$ ping 192.168.10.2 PING 192.168.10.2 (192.168.10.2) 56(84) bytes of data. 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.326 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.326 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.328 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.769 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.347 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.686 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.321 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.772 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.329 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.701 ms 64 bytes from 192.168.10.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.350 ms ^C --- 192.168.10.2 ping statistics --- 11 packets transmitted, 11 received, 0% packet loss, time 10129ms rtt min/avg/max/mdev = 0.321/0.477/0.772/0.195 ms ocpp@ocpp-Minimal:~\$</pre>	<pre>ocpp@ocpp-Minimal:~\$ ping 192.168.10.20 PING 192.168.10.20 (192.168.10.20) 56(84) bytes of data. 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.301 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.343 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.331 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.315 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.325 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.346 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.346 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.360 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.325 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.326 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.323 ms 64 bytes from 192.168.10.20: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.318 ms ^C --- 192.168.10.20 ping statistics --- 12 packets transmitted, 12 received, 0% packet loss, time 11247ms rtt min/avg/max/mdev = 0.301/0.329/0.360/0.029 ms ocpp@ocpp-Minimal:~\$</pre>
iperf (Modo TCP)	
Iperf -s	Iperf -c [CPO IP]
<pre>ocpp@ocpp-Minimal:~\$ iperf -s ----- Server listening on TCP port 5001 TCP window size: 128 KByte (default) ----- [4] local 192.168.10.2 port 5001 connected with 192.168.10.20 port 42788 [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0-10.0 sec 1.20 GBytes 1.03 Gbits/sec</pre>	<pre>ocpp@ocpp-Minimal:~\$ iperf -c 192.168.10.2 ----- Client connecting to 192.168.10.2, TCP port 5001 TCP window size: 85.0 KByte (default) ----- [3] local 192.168.10.20 port 42788 connected with 192.168.10.2 port 5001 [ID] Interval Transfer Bandwidth [3] 0.0-10.0 sec 1.20 GBytes 1.03 Gbits/sec</pre>

Fonte: Autor, (2020)

Para a avaliação dos Cenários 2 e 3, é necessário medir o tempo que a comunicação OCPP ocorreu. Para isso, foi inserido um código que mede o tempo entre o envio da mensagem e seu respectivo retorno. A figura 43 apresenta o algoritmo responsável por gerar o log e exemplos de como ele foi aplicado nas rotinas de *HeartBeat* e *Autentication*.

Figura 43- Diagrama da estrutura do arranjo experimental

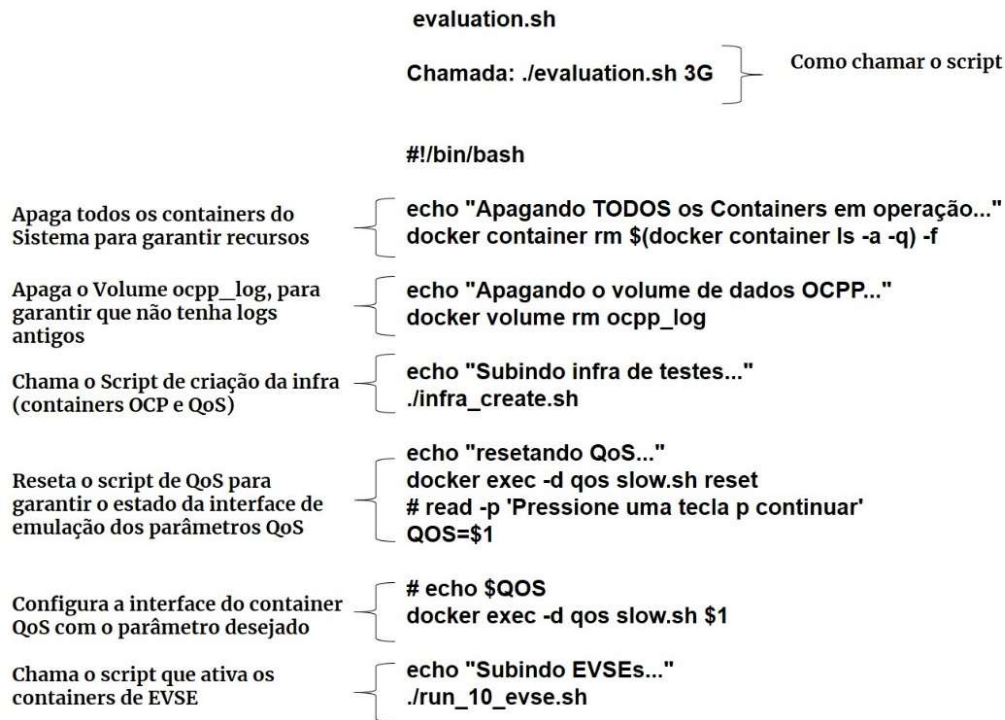


Fonte: Autor, (2021)

Foram fixados dois parâmetros importantes para todos os ensaios. O primeiro diz respeito à temporização do *HeartBeat*, que foi fixado em 2 segundos, ou seja, a cada 2 segundos, cada conexão EVSE – CPO troca um *HeartBeat*. O segundo parâmetro é a quantidade de mensagem de *MeterValues* que foi fixada em 1000 transações.

Por último, a realização do ensaio de múltiplas criações de EVSE pode-se tornar complexa, devido à quantidade de repetições existentes no processo. Para simplificar este processo, criou-se um script que executa os processos de criação da rede. A figura 44 descreve o script utilizado. A chamada do script possui um parâmetro utilizado para configurar o QoS (por exemplo, 3G irá configurar a interface eth0 do container QoS com um bandwidth de 1000 kbps e uma latência de 200ms).

Figura 44- Descrição do Script de execução dos ensaios de múltiplos EVSEs

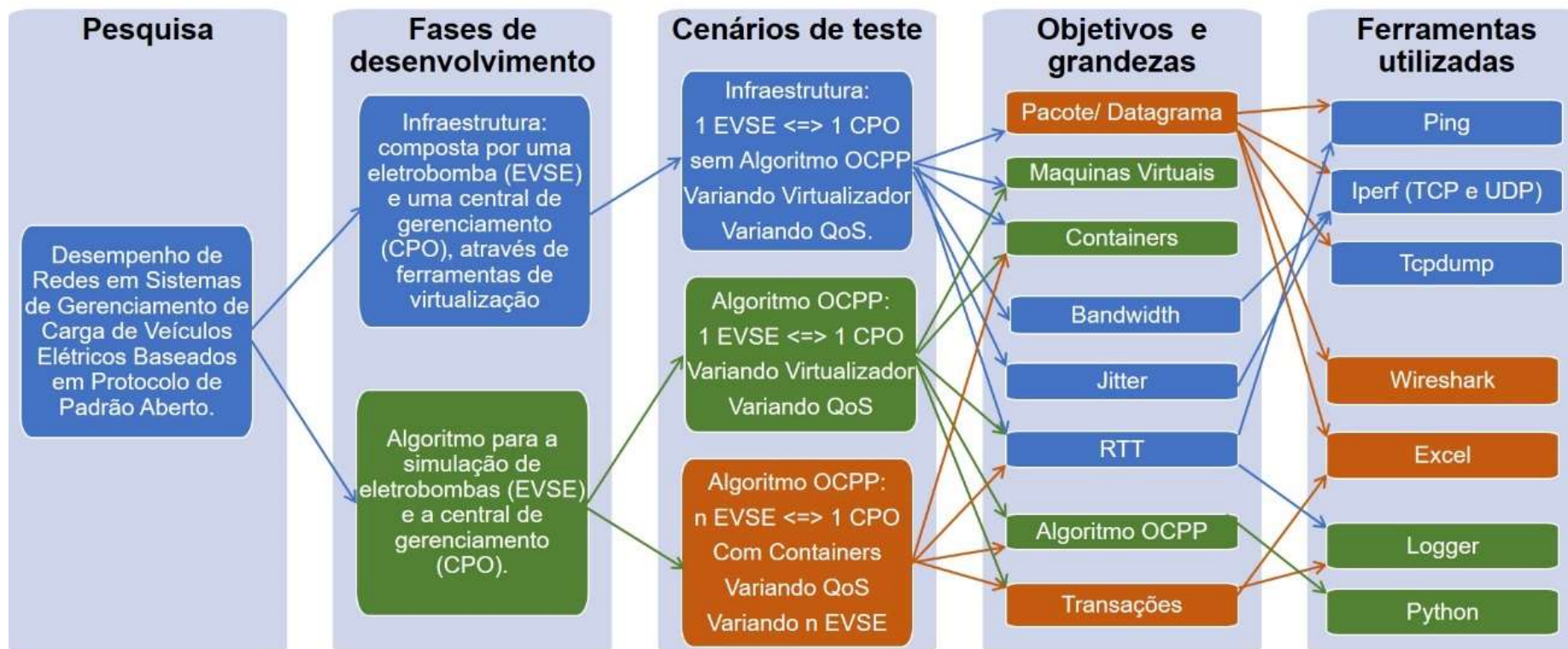


Fonte: Autor, (2021)

O script `evaluation.sh` apaga todos os containers do sistema operacional para garantir recursos, apaga o Volume `ocpp_log`, para garantir que não tenha logs antigos ou alguma inconsistência, chama o script para criar os containers OCP e QoS, após isso, configura a interface do container QoS com o parâmetro desejado (no exemplo 3G) e finaliza chamando o script que ativa os containers de EVSE

Pode-se, portanto, resumir a estrutura de arranjo experimental no diagrama da figura 45. Pode-se observar a interação entre as fases de desenvolvimento e qual cenário de teste é dependente de qual fase de desenvolvimento. Pode-se ainda observar a quais grandezas mensuradas e objetivos de teste estão relacionadas a qual cenário de teste, e ainda quais ferramentas podem prover as grandezas requeridas no experimento.

Figura 45- Diagrama da estrutura da pesquisa, das fases de desenvolvimento ao arranjo experimental



Fonte: Autor, (2021)

6 RESULTADOS

Conforme descrito anteriormente, os ensaios foram agrupados em três cenários e os resultados são apresentados nas subseções a seguir. Vale ressaltar que o critério da variação dos parâmetros de qualidade de serviço seguiu as tecnologias móveis já criadas no script (BULLINGTON-MCGUIRE, 2012) e utilizam os valores a seguir:

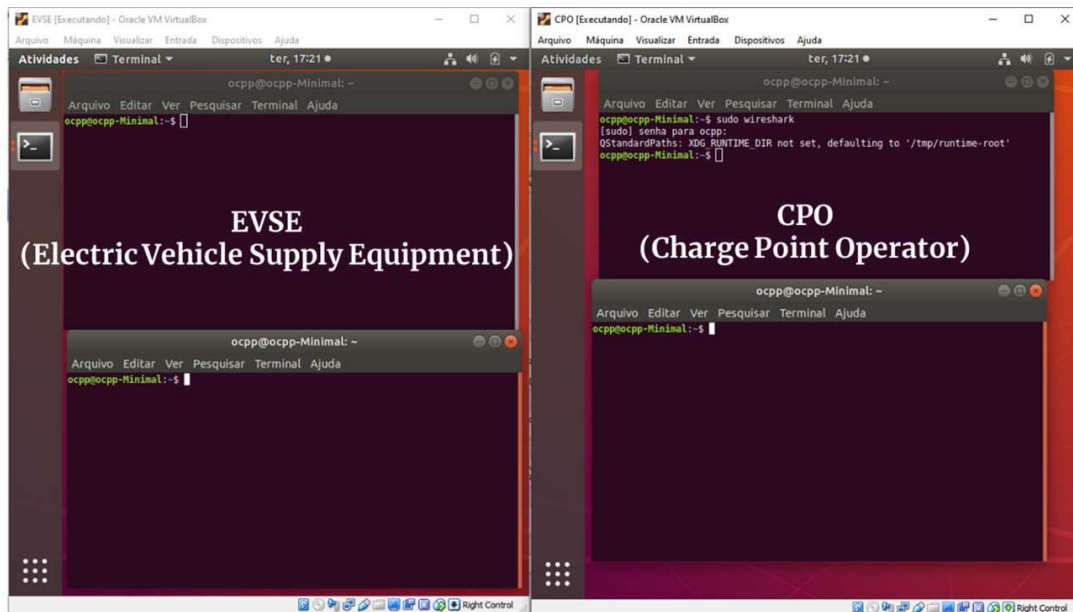
- (a) Referência: configuração sem parametrização adicional. Para configurar a interface neste modo, utiliza-se o script '*slow.sh reset*'
- (b) AMPS: configuração com parametrização 14kbps de bandwidth e 250ms de latência. Utiliza-se o script '*slow.sh AMPS*'
- (c) GPRS: configuração com parametrização 50kbps de bandwidth e 200ms de latência. Utiliza-se o script '*slow.sh GPRS*'
- (d) 3G: configuração com parametrização 1Mbps de bandwidth e 200ms de latência. Utiliza-se o script '*slow.sh 3G*'
- (e) 4G: configuração com parametrização 10Mbps de bandwidth e 100ms de latência. Utiliza-se o script '*slow.sh 4G*'
- (f) Vsat: configuração com parametrização 5Mbps de bandwidth e 500ms de latência. Utiliza-se o script '*slow.sh vsat*'

Todos os valores de parâmetros descritos se encontram na tabela 7.

6.1 Cenário 1 - Infraestrutura

A primeira tecnologia de virtualização escolhida foi a baseada em VM (Máquinas Virtuais). Na figura 46, pode-se ver as 2 máquinas virtuais em operação.

Figura 46- Tela do ensaio de infraestrutura baseado em VM.



Fonte: Autor, (2021)

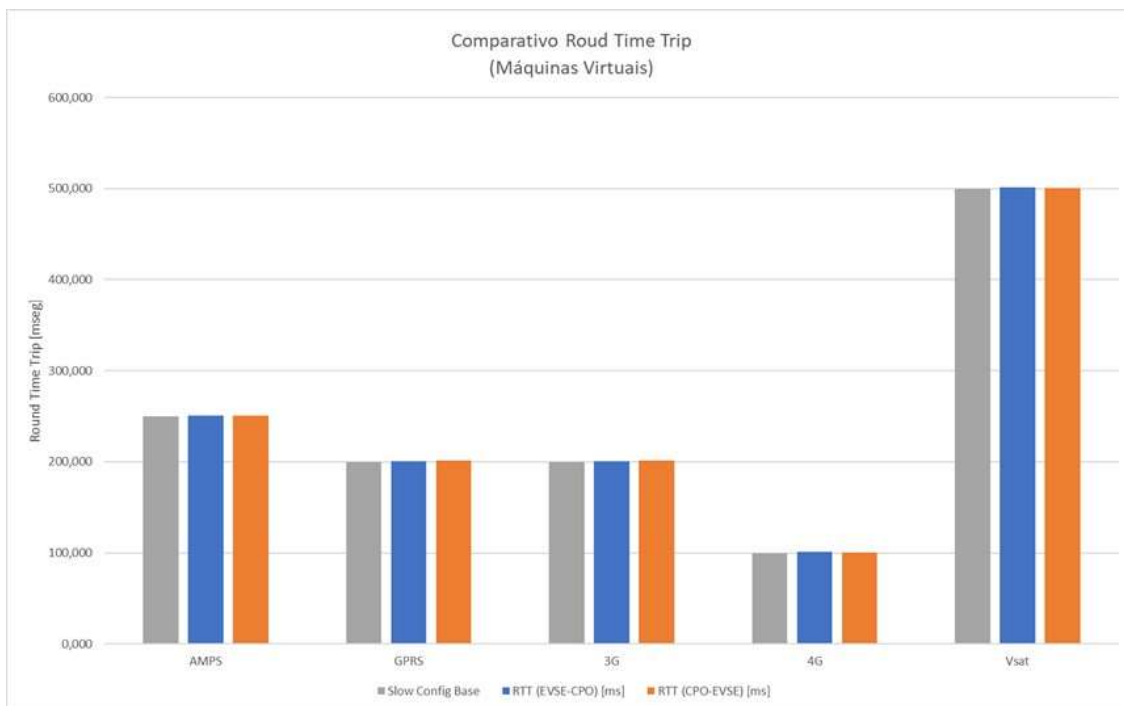
O ensaio desta infraestrutura foi realizado seguindo a tabela 7 e os resultados obtidos se encontram na tabela 9, onde pode-se observar os resultados do comando Ping EVSE - CPO, CPO -EVSE

Tabela 9 – RTT (Round Time Trip) da infraestrutura baseada em VM

Configurações <i>slow.sh</i> [milissegundos]		Ping					
		RTT (EVSE-CPO) [milissegundos]			RTT (CPO-EVSE) [milissegundos]		
		mínimo	média	máximo	mínimo	média	máximo
Referência	0,00	0,00	0,33	0,43	1,17	0,31	0,42
AMPS	250,00	250,00	250,38	250,58	251,40	250,31	251,01
GPRS	200,00	200,00	200,37	200,51	201,36	200,41	201,10
3G	200,00	200,00	200,36	200,65	202,99	200,37	201,13
4G	100,00	100,00	100,48	100,89	101,04	100,46	100,73
Vsat	500,00	500,00	500,38	501,08	501,78	500,43	500,97

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de *RTT (Round Time Trip)* variam conforme a tecnologia de comunicação (AMPS, GPRS, 3G, 4G e Vsat) e suas respectivas configurações, impostas pelo script *slow.sh*. A figura 47 apresenta a relação direta entre o valor configurado (em cinza) e os valores medidos com o comando ping (em azul e em laranja), com o tráfego de 1000 pacotes *send_meter_values*. Em todos os casos, não houve perda de pacotes.

Figura 47- Gráfico comparativo de RTT do ensaio de infraestrutura baseado em VM.

Fonte: Autor, (2020)

A tabela 10 apresenta os resultados obtidos com o Iperf no modo TCP.

Tabela 10 –Iperf da infraestrutura baseada em VM

Configurações slow.sh		Iperf TCP – CPO (server) EVSE (Cliente)	
	Largura de Banda [kbps]	Vazão [KBytes/s]	Varição (%)
AMPS	14,00	13,38	4,46%
GPRS	50,00	47,88	4,25%
3G	1.000,00	912,50	8,75%
4G	10.000,00	9.153,00	8,47%
Vsat	5.000,00	3.098,00	38,04%

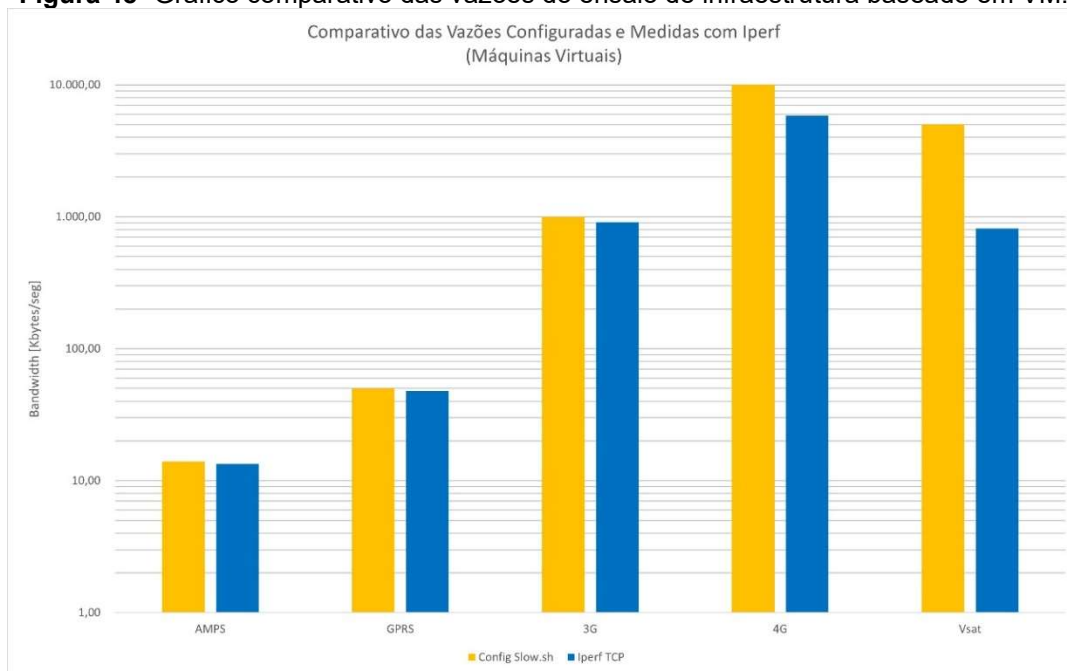
Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de vazão variam conforme a tecnologia de comunicação (AMPS, GPRS, 3G, 4G e Vsat) e suas respectivas configurações, impostas pelo script *slow.sh*. Vale ressaltar que as unidades kbps reportadas para configuração de banda do *slow.sh* (e consequentemente do NetEm) são kilobytes por segundo (TC,LINUX, 2021).

Já o gráfico da figura 48 apresenta a vazão configurada (em amarelo) e os valores medidos (em azul). A variação entre os valores configurados e medidos se dá devido, desde a variações de tamanho de pacote considerando o tamanho do cabeçalho, até o ajuste da conexão TCP devido a Janela TCP

(IPERF, 2015). Pode-se, ainda, notar a tecnologia Vsat com uma variação muito maior entre os valores configurados e medidos.

Figura 48- Gráfico comparativo das vazões do ensaio de infraestrutura baseado em VM.



Fonte: Autor, (2021)

A segunda tecnologia de virtualização avaliada foi a baseada em Containers. Na figura 49, pode-se ver os três containers (CPO, QoS e EVSE) conectados através de terminais durante o ensaio.

Figura 49- Tela do ensaio de infraestrutura baseado em Containers.

Fonte: Autor, (2021)

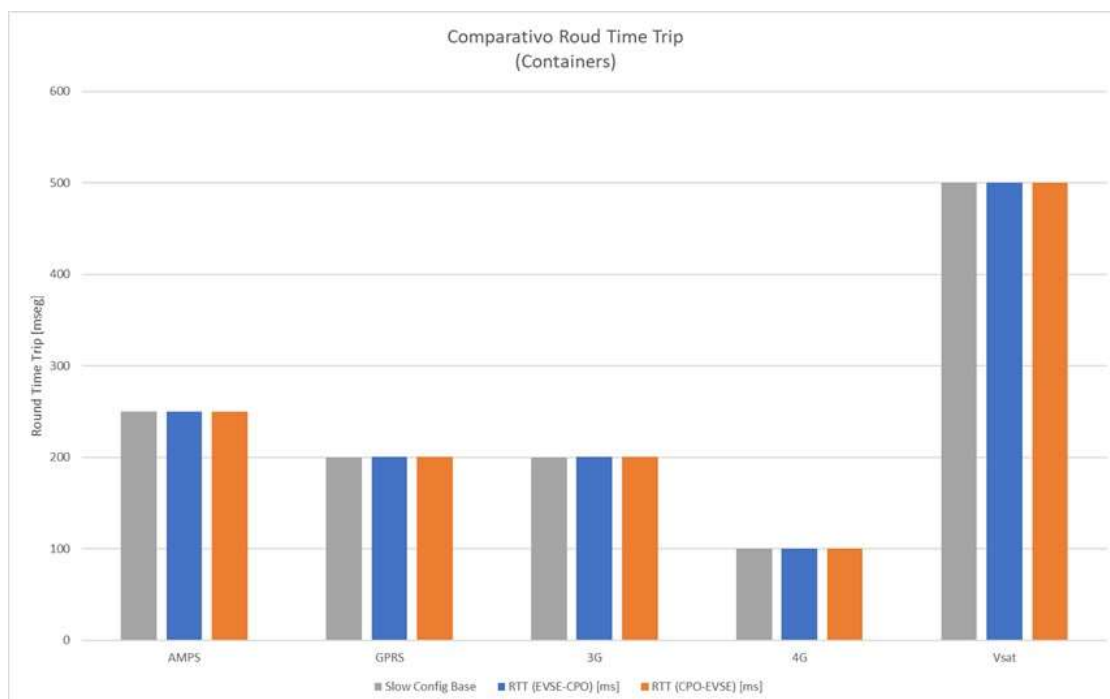
Este segundo ensaio também seguiu a tabela 8 e os resultados obtidos se encontram na tabela 11, onde pode-se ver os resultados do comando Ping EVSE - CPO, CPO - o EVSE

Tabela 11 – RTT da infraestrutura baseada em Containers

Configurações slow [milissegundos]		Ping					
		RTT (EVSE-CPO) [milissegundos]			RTT (CPO-EVSE) [milissegundos]		
		mínimo	média	máximo	mínimo	média	máximo
Referência	0,00	0,07	0,14	0,25	0,07	0,15	0,07
AMPS	250,00	250,14	250,30	250,40	250,16	250,29	250,14
GPRS	200,00	200,11	200,25	200,41	200,12	200,27	200,11
3G	200,00	200,12	200,28	200,38	200,14	200,29	200,12
4G	100,00	100,13	100,27	100,33	100,13	100,28	100,13
Vsat	500,00	500,15	500,27	500,38	500,14	500,30	500,15

Fonte: Autor, (2021)

Assim como no ensaio baseado em máquinas virtuais, pode-se notar que os valores de *RTT (Round Time Trip)* variam de acordo com a tecnologia de comunicação (AMPS, GPRS, 3G, 4G e Vsat) e suas respectivas configurações, impostas pelo script *slow.sh*. A figura 50 apresenta a relação direta entre o valor configurado (em cinza) e os valores medidos com o comando ping (em azul e em laranja), com o tráfego de 1000 pacotes *send_meter_values*. Em todos os casos, não houve perda de pacotes.

Figura 50- Gráfico comparativo de RTT do ensaio de infra baseado em Containers.

Fonte: Autor, (2021)

A tabela 12 apresenta os resultados do Iperf TCP.

Tabela 12 –Iperf da infraestrutura baseada em Containers

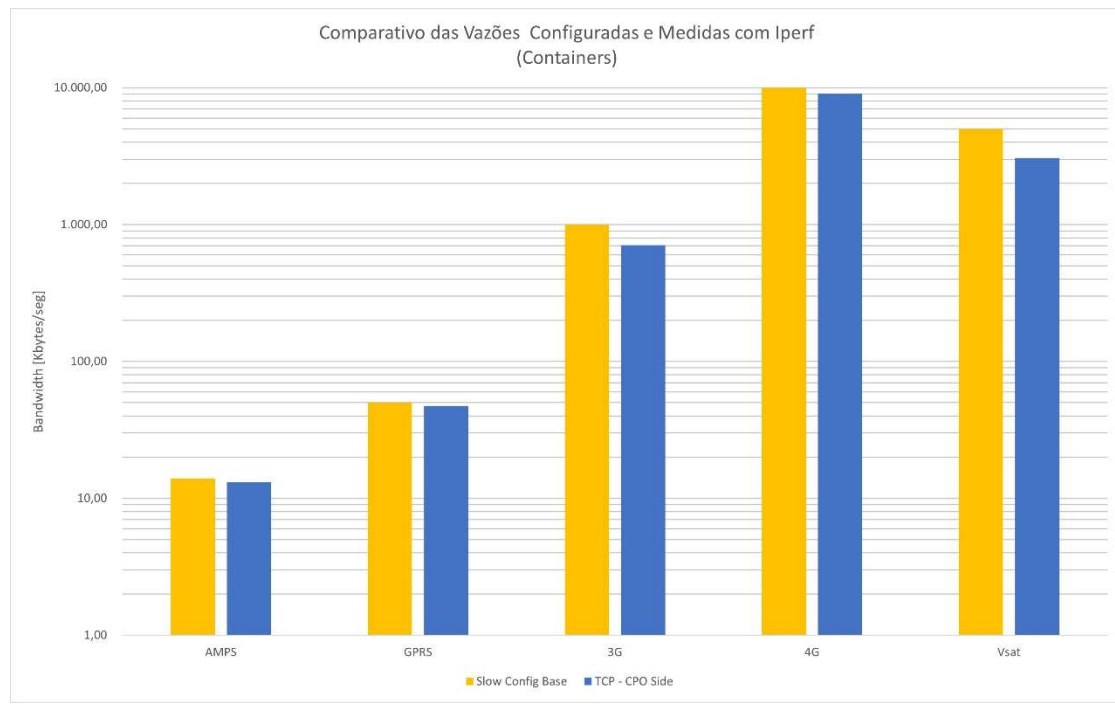
Configurações slow.sh	Iperf TCP – CPO (server) EVSE (Cliente)		
	Largura de Banda [kbps]	Vazão [KBytes/s]	Variação (%)
AMPS	14,00	13,10	6,43%
GPRS	50,00	47,30	5,40%
3G	1.000,00	916,00	8,40%
4G	10.000,00	9180,00	8,20%
Vsat	5.000,00	3068,00	38,64%

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de vazão variam conforme a tecnologia de comunicação (AMPS, GPRS, 3G, 4G e Vsat) e suas respectivas configurações, impostas pelo script *slow.sh*.

Já o gráfico da figura 51 apresenta a vazão configurada (em amarelo) e os valores medidos (em azul) com o comando Iperf em modo TCP, os quais são proporcionais. A vazão medida é ligeiramente menor, que os valores configurados.

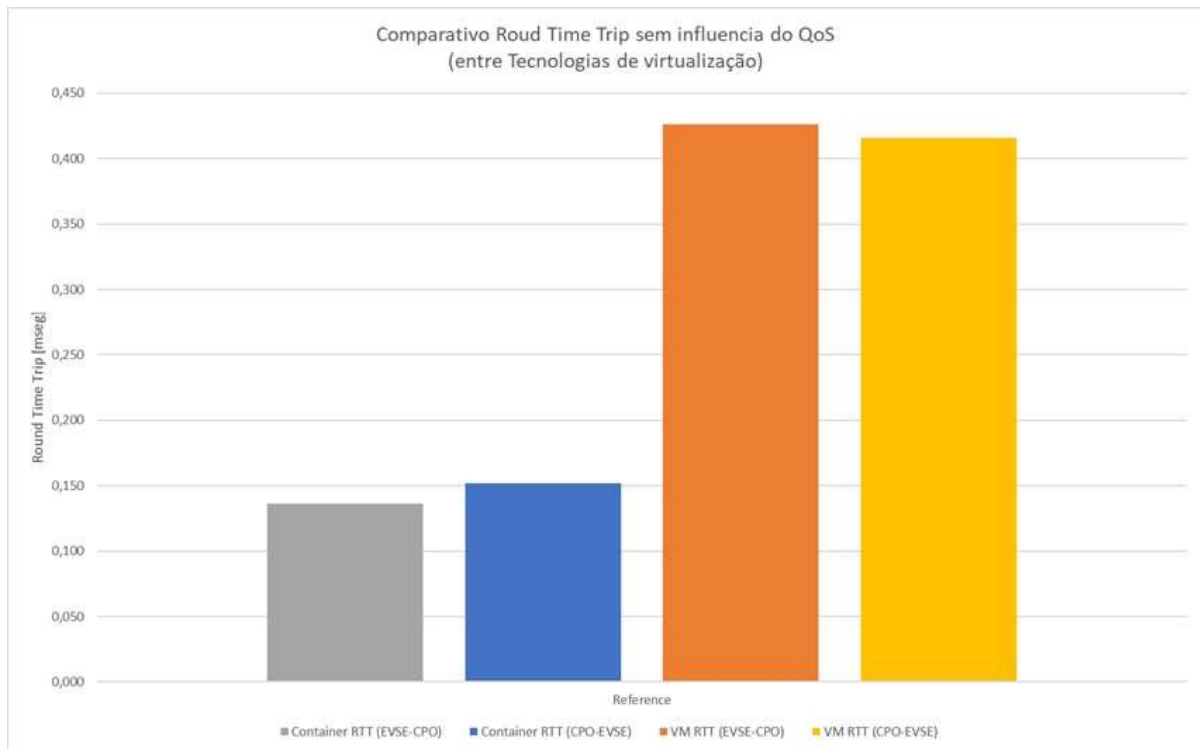
Figura 51- Gráfico comparativo de Vazão do ensaio de infraestrutura baseado em Containers.



Fonte: Autor, (2021)

Comparando-se os resultados entre as tecnologias de virtualização (Máquinas Virtuais – figura 50 versus Containers – figura 53), observa-se uma variação significativa entre RTTs, chegando a quase 0,3 milissegundos de diferença, quando não há variações dos parâmetros de QoS. A figura 52 apresenta estas variações.

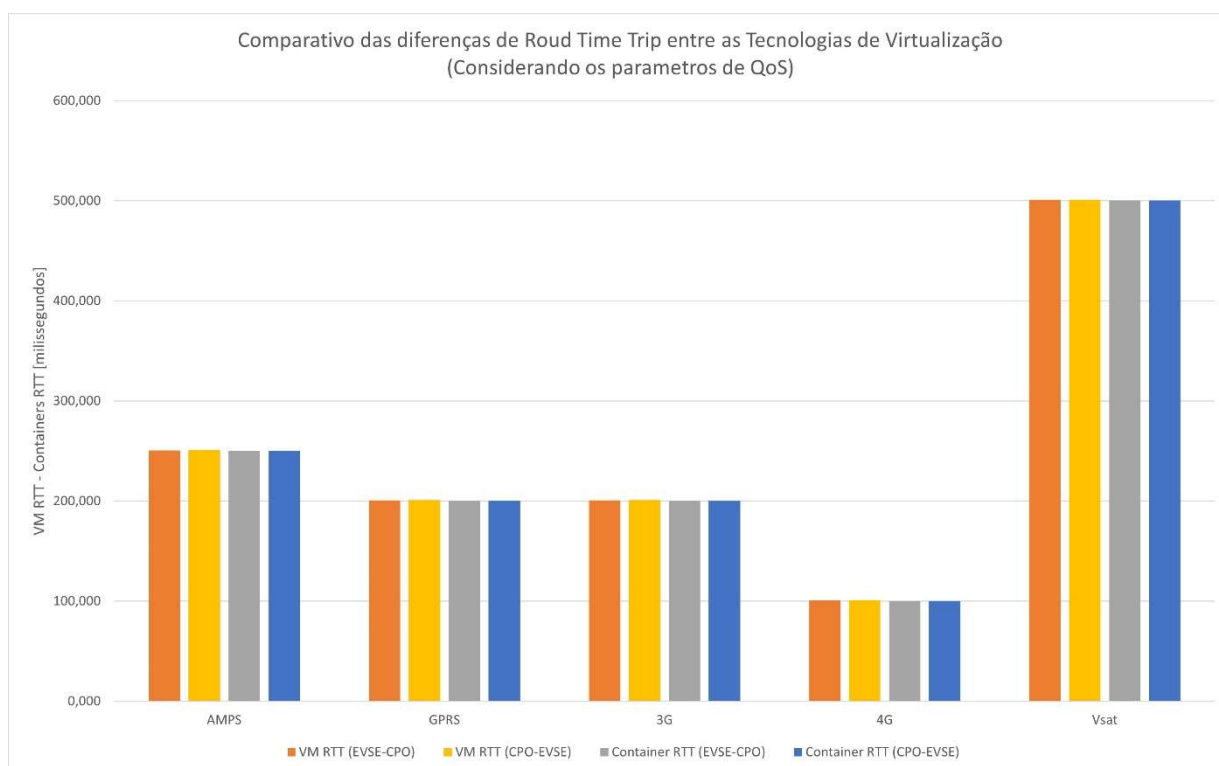
Figura 52- Gráfico Comparativo de RTT entre tecnologias de virtualização sem influência do QoS.



Fonte: Autor, (2021)

Comparando-se a diferença entre os tempos de RTT das máquinas virtuais com os tempos de RTT dos containers, tem-se que sempre os tempos são maiores na primeira tecnologia. O gráfico da figura 53 apresenta esta diferença de magnitude, considerando as diferentes tecnologias de comunicação (AMPS, GPRS, 3G, 4G e Vsat).

Figura 53- Gráfico Comparativo das diferenças de RTT entre tecnologias de virtualização com influência do QoS.



Fonte: Autor, (2021)

6.2 Cenário 2 - CPO se comunicando com 1 EVSE

Assim como foram comparadas as tecnologias de virtualização (Máquinas Virtuais versus Containers) no primeiro cenário, essa comparação também foi realizada para o Cenário 2. Porém, agora foram observados os valores dos tempos de comunicação OCPP, do protocolo OCPP, vindos do log do algoritmo EVSE. Os resultados se encontram na tabela 13.

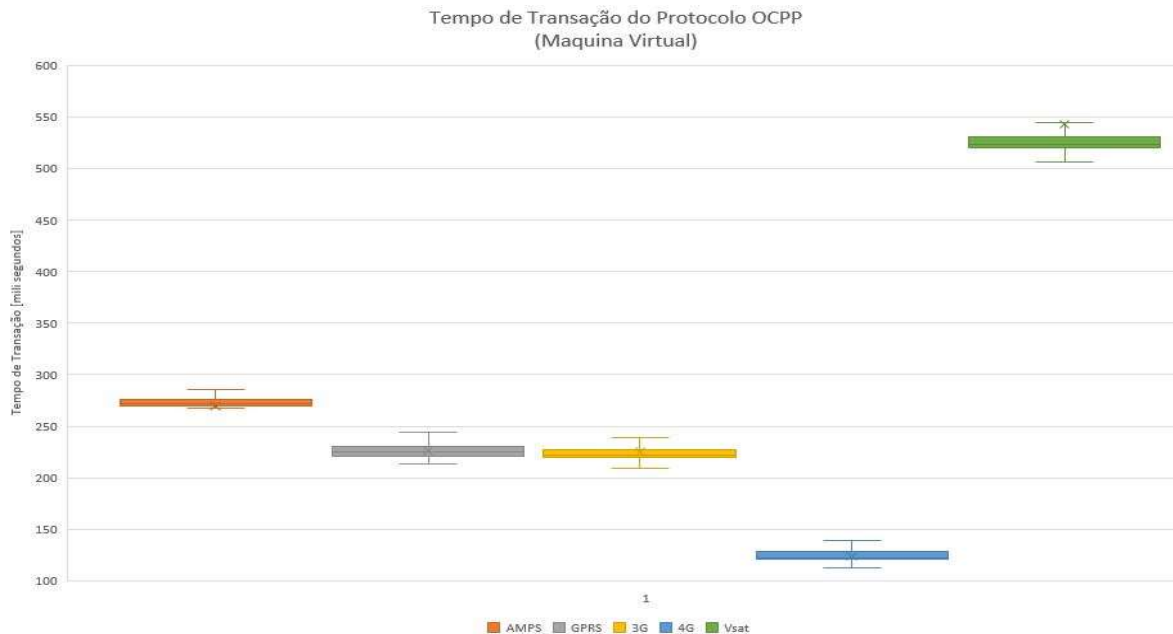
Tabela 13 – Resumo dos resultados do tempo de comunicação OCPP utilizando VM

[milissegundos]	Referência	AMPS	GPRS	3G	4G	Vsat
Média	25,78	269,40	225,85	225,24	123,83	542,83
Desvio padrão	8,36	52,05	34,72	31,20	20,70	112,62
Mediana	22,79	271,32	224,76	221,45	122,54	522,85
Mínimo	7,72	3,72	13,32	6,66	3,25	5,58
Máximo	84,26	442,97	385,11	388,79	340,62	1054,93

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de Tempo de comunicação OCPP possuem uma dispersão baixa, conforme figura 54.

Figura 54- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário baseado em Máquinas Virtuais.



Fonte: Autor, (2020)

Os resultados obtidos, fazendo-se a virtualização baseada em Containers se encontram na tabela 14.

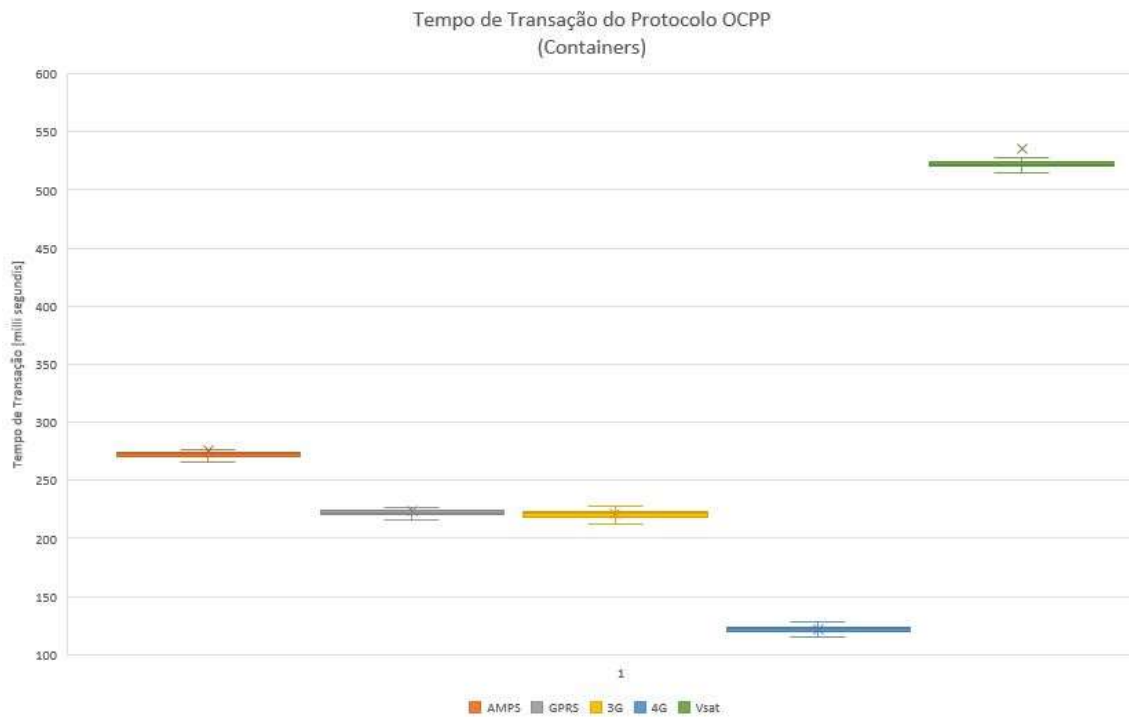
Tabela 14 – Resumo dos resultados do tempo de comunicação OCPP utilizando Containers

[milissegundos]	Referência	AMPS	GPRS	3G	4G	Vsat
Média	14,01	275,68	223,61	221,26	121,99	535,73
Desvio padrão	2,35	38,43	29,47	29,32	13,21	97,47
Mediana	14,36	272,46	222,35	221,75	122,27	522,20
Mínimo	4,47	58,41	104,80	101,63	10,11	352,54
Máximo	25,20	483,35	424,66	422,72	216,60	929,23

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de Tempo de comunicação OCPP possuem uma dispersão baixa, conforme figura 55.

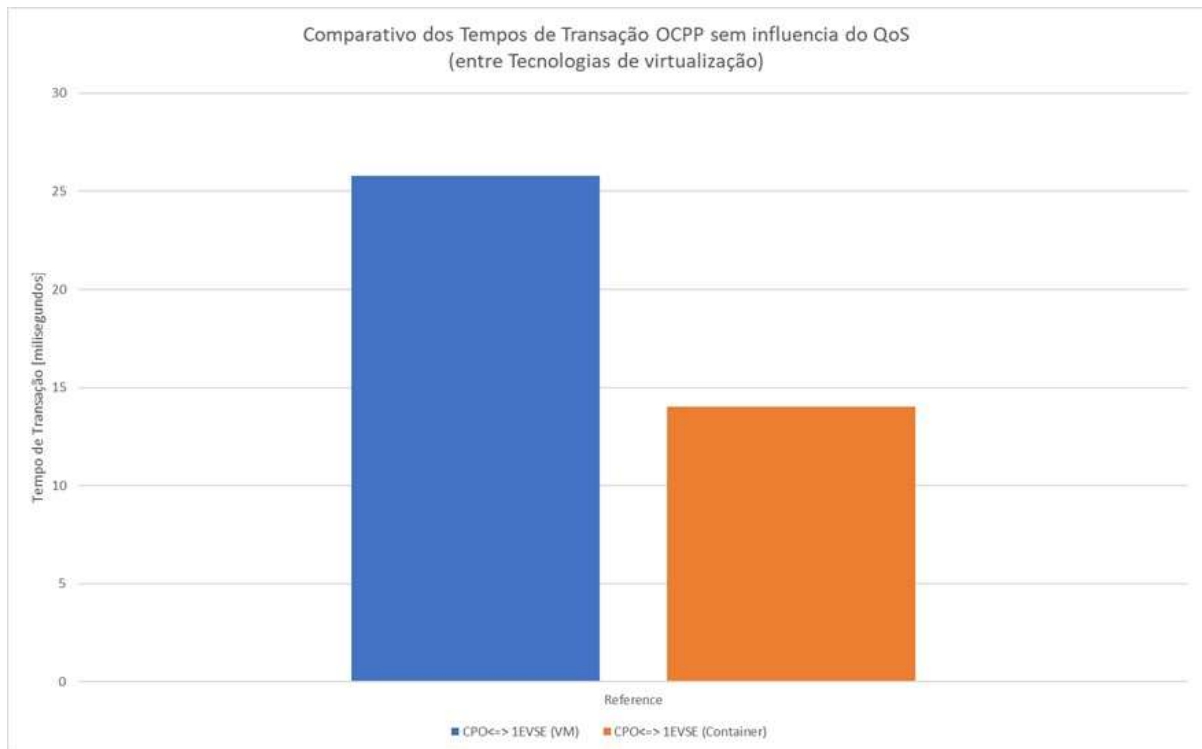
Figura 55- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP utilizando Containers.



Fonte: Autor, (2020)

Comparando os resultados entre as tecnologias de virtualização (figuras 56 e 57), observa-se uma variação significativa entre tempos de comunicação do protocolo OCPP, o que é esperado, devido à já conhecida variação de RTT, obtida nos ensaios do Cenário 1. Utilizando-se Máquinas Virtuais, o tempo chega a quase 12 milissegundos, quando não influenciado pelas variações dos parâmetros de QoS. A figura 56 ilustra essa comparação.

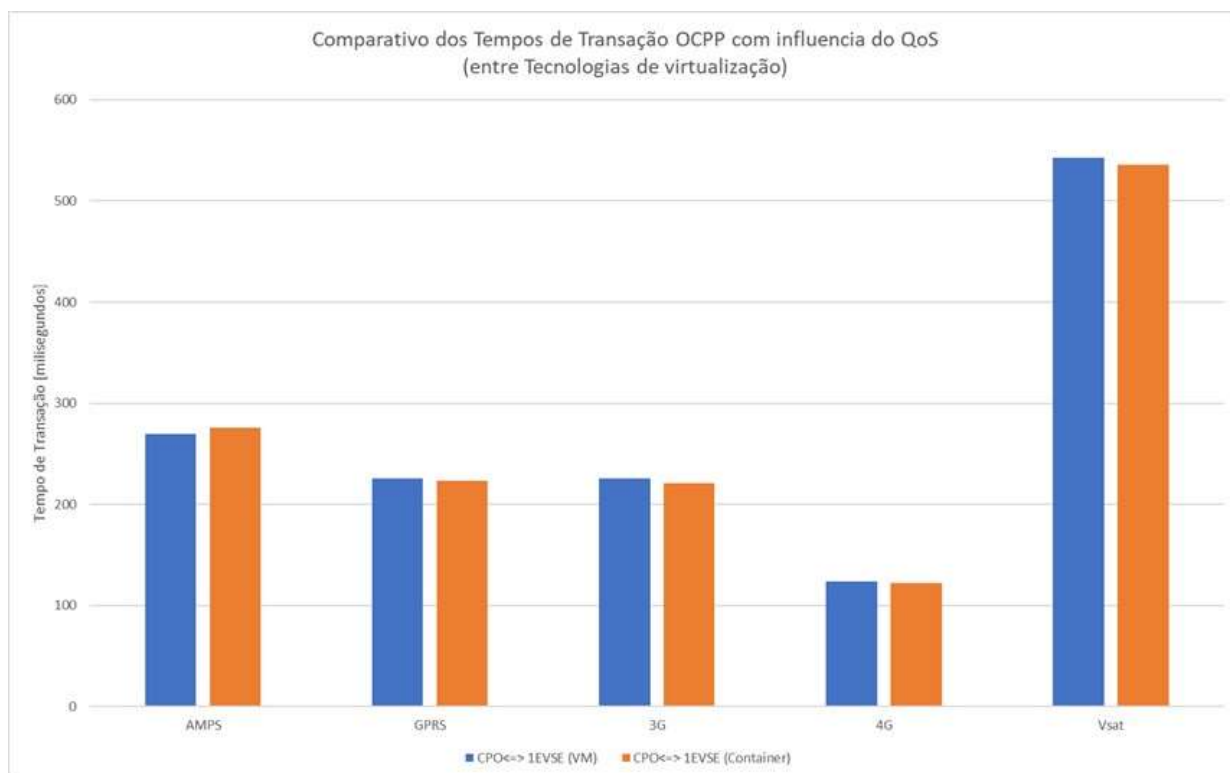
Figura 56- Gráfico Comparativo de RTT entre tecnologias de virtualização sem influência do QoS.



Fonte: Autor, (2020)

Contudo, quando são inseridos os parâmetros de QoS (ou seja, quando são consideradas as diferentes tecnologias de comunicação), a diferença entre os tempos de comunicação OCPP das Máquinas Virtuais e os tempos dos Containers não é significativa. O gráfico da figura 57 ilustra essa comparação.

Figura 57- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP entre tecnologias de virtualização com influência do QoS.



Fonte: Autor, (2021)

6.3 Cenário 3 - CPO se comunicando com vários EVSEs

No Cenário 3 foram observados os valores de tempo de comunicação do protocolo OCPP, vindos do log do algoritmo EVSE. Estes valores foram comparados com os valores de tempo de comunicação OCPP do Cenário 2 (1 EVSEs se comunicando com o CPO). Os resultados obtidos se encontram na tabela 15. Neste Cenário 3, foram emulados 10 EVSEs se comunicando com o CPO.

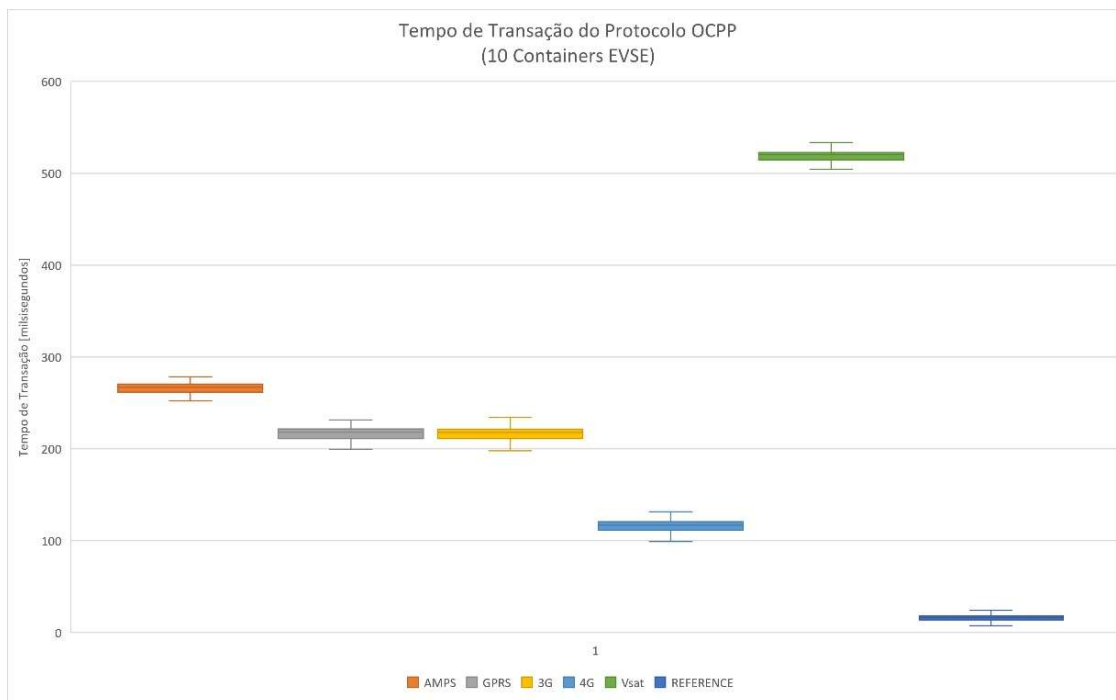
Tabela 15 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 10 containers EVSE (Cenário 3)

[milissegundos]	Referência	AMPS	GPRS	3G	4G	Vsat
Média	15,74	268,77	220,70	220,45	120,12	533,78
Desvio padrão	3,63	37,07	29,00	29,37	15,28	98,93
Mediana	16,15	268,32	221,10	220,98	122,01	521,24
Mínimo	3,00	26,98	1,63	8,68	1,92	162,81
Máximo	45,35	531,98	441,64	439,83	230,11	939,70

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de Tempo de comunicação OCPP possuem uma dispersão baixa, conforme a figura 58.

Figura 58- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 10 containers EVSE.



Fonte: Autor, (2021)

Um segundo ensaio foi realizado no Cenário 3, agora com 25 EVSEs emulados, se comunicando com o CPO. A tabela 16, descreve os resultados teste.

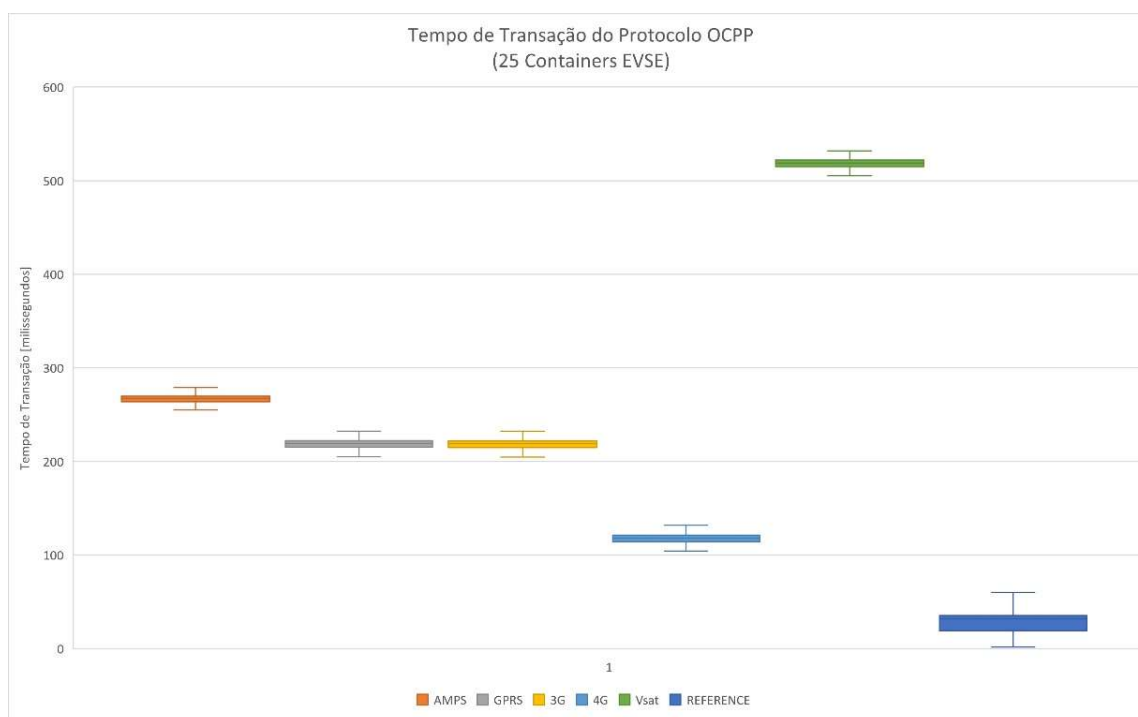
Tabela 16 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 25 containers EVSE (Cenário 3)

[milissegundos]	Referência	AMPS	GPRS	3G	4G	Vsat
Média	29,67	266,59	217,43	217,16	115,29	530,70
Desvio padrão	13,63	37,70	29,56	29,98	18,68	101,40
Mediana	31,74	267,15	219,26	219,00	118,19	518,92
Mínimo	1,47	38,10	4,86	1,68	1,49	147,34
Máximo	167,25	516,91	415,46	416,92	228,97	947,47

Fonte: Autor, (2021)

Pode-se notar que os valores de Tempo de comunicação OCPP possuem uma dispersão baixa, conforme a figura 59.

Figura 59- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 25 containers EVSE.



Fonte: Autor, (2021)

Finalmente, o último ensaio realizado no Cenário 3 considerou 50 EVSEs emulados, se comunicando com o CPO. A tabela 17, descreve os resultados desse teste.

Tabela 17 – Resultados do tempo de comunicação OCPP com base em 50 containers EVSE (Cenário 3)

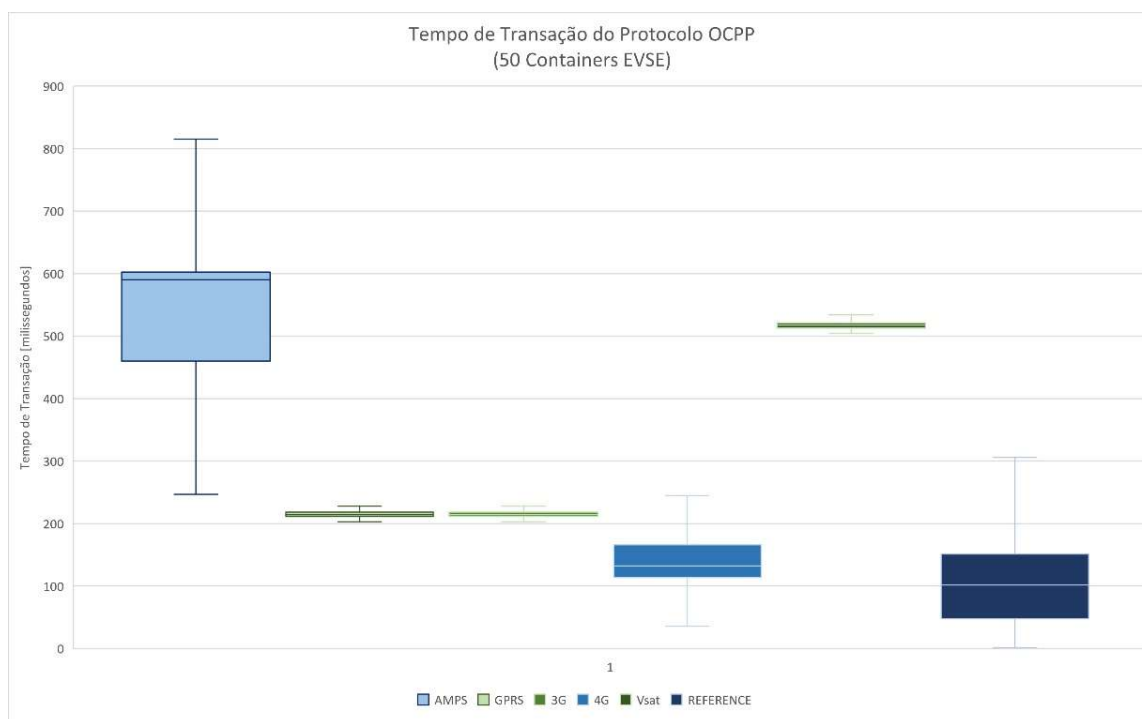
[milissegundos]	Referência	AMPS	GPRS	3G	4G	Vsat
Média	100,53	543,58	214,17	214,17	146,14	528,29
Desvio padrão	61,45	172,55	37,73	37,73	35,47	102,29
Mediana	101,53	590,20	214,22	214,22	155,97	517,45
Mínimo	1,64	3,41	1,21	1,21	1,31	150,52
Máximo	554,69	1230,50	515,73	515,73	482,70	958,68

Fonte: Autor, (2021)

Observa-se o aumento da distribuição do tempo de comunicação OCPP para os parâmetros de Referência, AMPS e 4G (em azul na figura 60). Isto se dá devido ao aumento do uso de CPU para 100%. Já o grupo de parâmetros GPRS, 3G e Vsat (em verde na figura 60), mantém a mesma tendência de crescimento

moderado na distribuição do tempo de comunicação OCPP, visto nos ensaios de 10 e 25 containers.

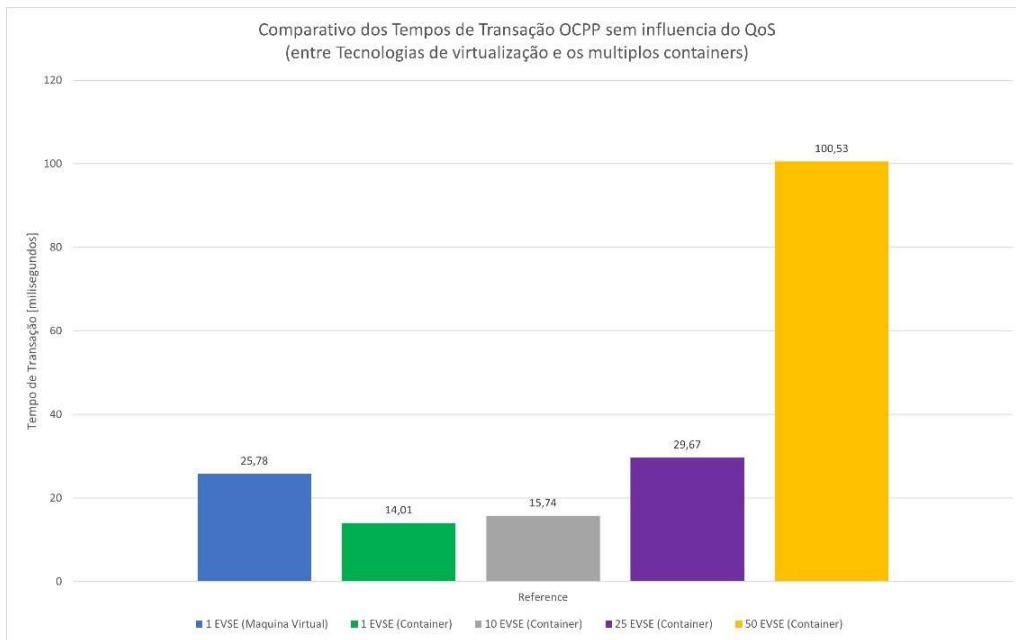
Figura 60- Gráfico comparativo dos Tempos de Comunicação OCPP no cenário com 50 containers EVSE.



Fonte: Autor, (2021)

Comparando-se os tempos de comunicação do OCPP, considerando 1 e 10 EVSEs, observa-se um aumento de quase 2 milissegundos entre os dois ensaios (12,3%). Este tempo aumenta para quase 15 milissegundos, comparando 10 e 25 containers (88,5%) e, finalmente, para 70 milissegundos, comparando 25 e 50 containers (239%). Estes tempos podem ser observados na figura 61. Vale lembrar que o experimento com 50 containers EVSE (em amarelo) chegou no limite de 100% de taxa de CPU.

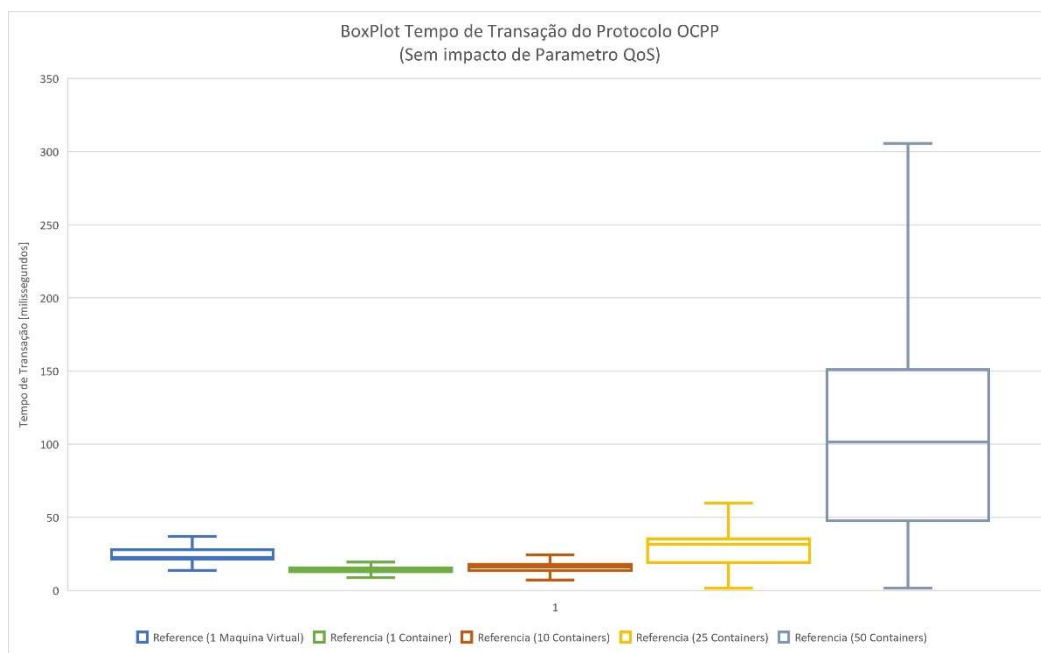
Figura 61- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos containers EVSE.



Fonte: Autor, (2021)

Comparando, agora, as distribuições dos tempos de comunicação OCPP, pode se observar um aumento na amplitude da distribuição, com o aumento no número de containers, e a extrapolação deste crescimento, no ensaio com 50 containers conforme a figura 62.

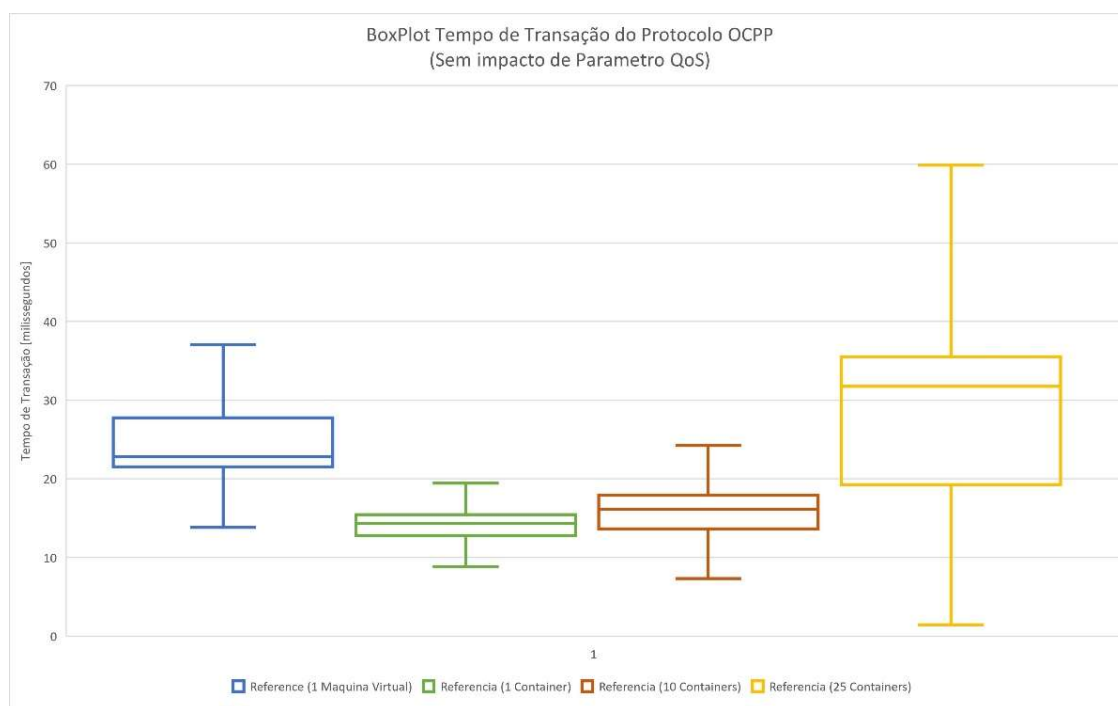
Figura 62- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos EVSEs



Fonte: Autor, (2021)

A figura 62 apresenta uma distorção na escala, isso devido a magnitude do resultado do ensaio com 50 containers ser muito superior à dos ensaios com uma quantidade menor de containers. Desta forma, o ensaio de 50 containers para os parâmetros de Referência, AMPS e 4G são analisados em separado, conforme a figura 63.

Figura 63- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP sem os parâmetros de QoS com múltiplos EVSE, desconsiderando cenário de 50 containers.

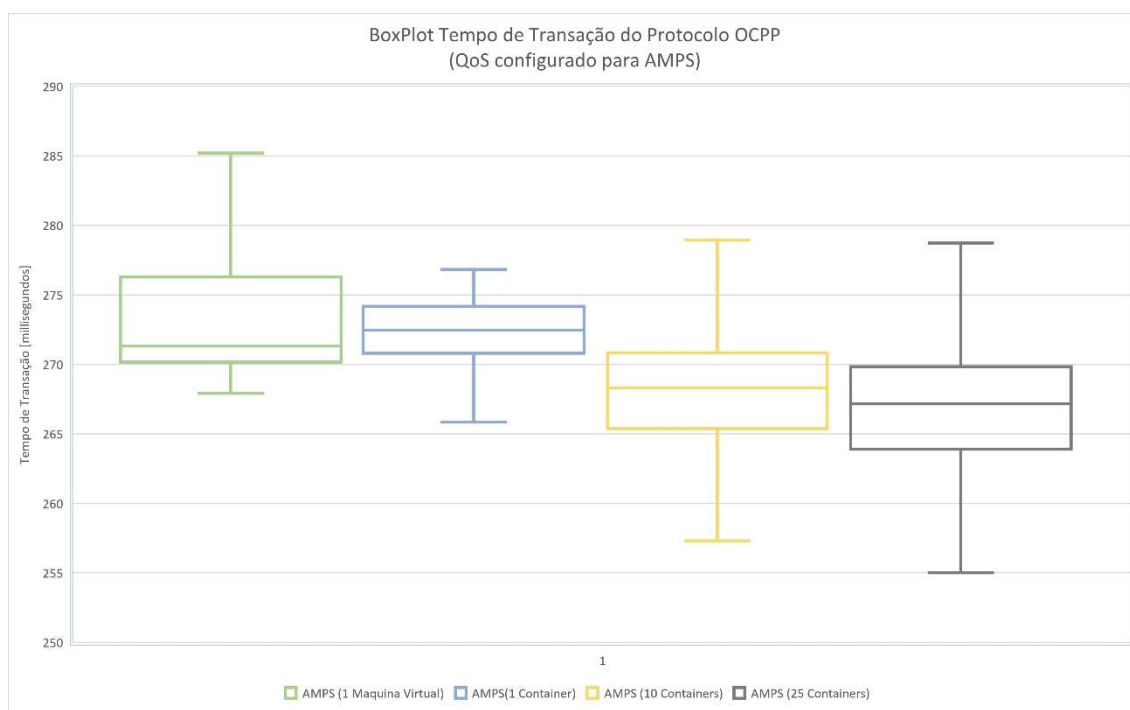


Fonte: Autor, (2021)

Pode-se observar, o aumento da distribuição do tempo de comunicação OCPP, conforme aumenta-se a quantidade de containers (EVSEs). Nota-se, também, o aumento da mediana, acompanhando a mesma tendência: Aumento de 11% de 1 para 10 containers e aumento de 49% de 10 para 25 containers

Analisando agora os ensaios AMPS e 4G, ensaios estes influenciados pelos parâmetros de QoS e, embora sigam a mesma tendência de aumento da distribuição, pode-se notar que a mediana dos dados diminui, conforme a quantidade de containers aumenta. Os parâmetros de QoS (AMPS) podem ser observados na figura 64.

Figura 64- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (AMPS), múltiplos EVSEs e desconsiderando cenário de 50 containers.

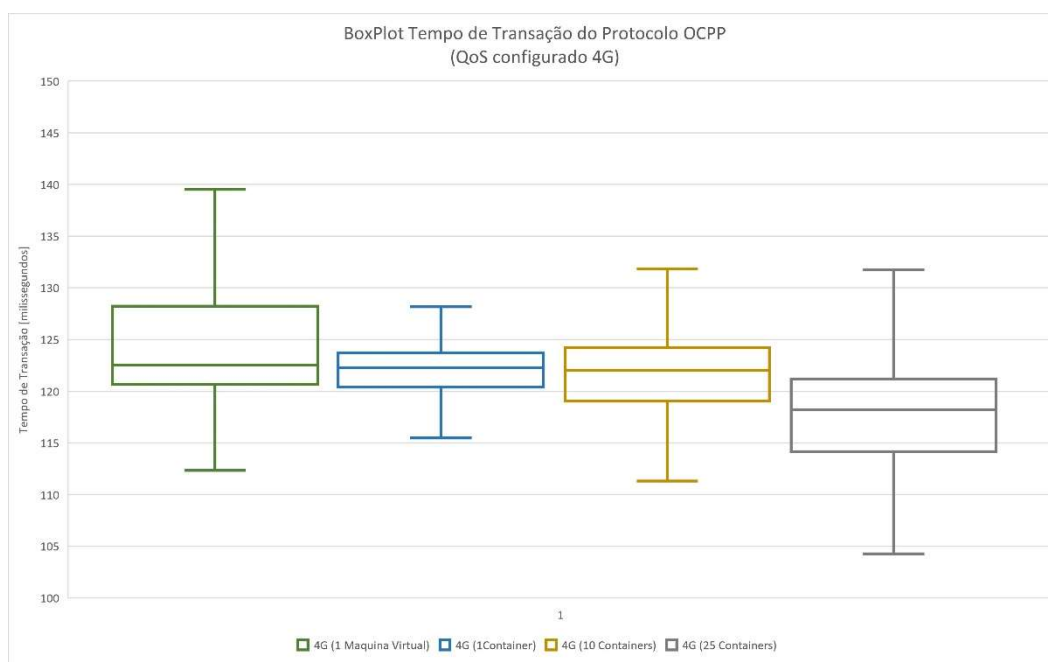


Fonte: Autor, (2021)

Pode-se observar, o aumento da distribuição do tempo de comunicação OCPP, conforme aumenta-se a quantidade de containers (EVSEs). Nota-se, também, a diminuição da mediana, ao contrário dos ensaios sem a influência do algoritmo de QoS, diminuindo em 2% de 1 para 10 containers e acompanhando a tendência em 1% de 10 para 25 containers

Já a figura 65 ilustra a distribuição dos tempos de comunicação OCPP com influência dos parâmetros para a tecnologia 4G. A tendência da parametrização 4G acompanha as curvas AMPS no aumento da dispersão e diminuição da mediana. Para essa parametrização, diminuindo em 14% de 1 para 10 containers e em 18% de 10 para 25 containers

Figura 65- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (4G), múltiplos containers EVSE e desconsiderando cenário de 50 containers .



Fonte: Autor, (2021)

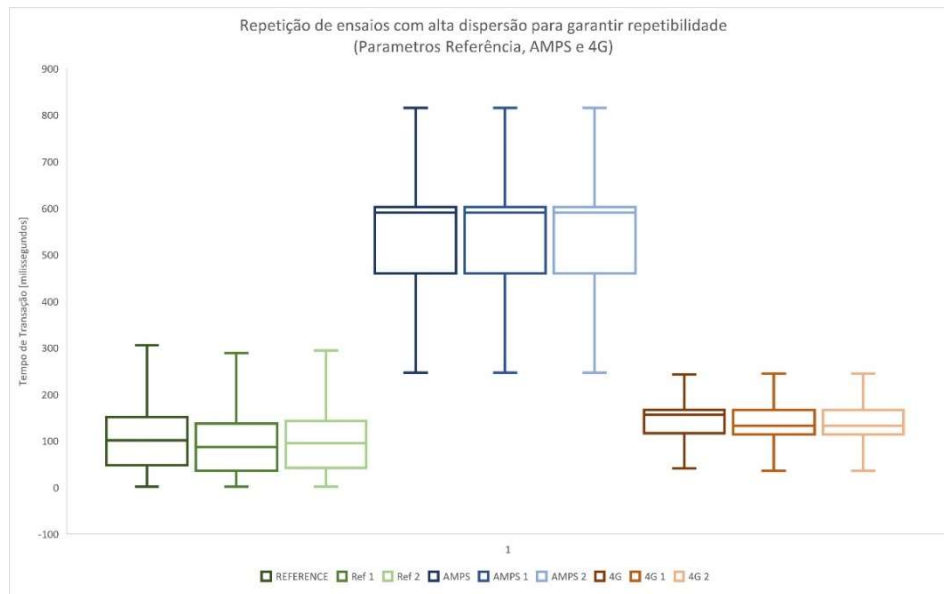
Em ambos os ensaios submetidos a parametrização de QoS, observar-se a diminuição da mediana no tempo de comunicação nos ensaios (comportamento que acompanhará todos os ensaios subsequentes).

Para gerar o efeito de controle dos parâmetros de tráfego, o script `slow.sh` se utiliza-se da disciplina HTB (*Hierarchical Token Bucket*), que se encontra no comando Linux `tc` (TC, LINUX, 2021). Uma das características desta disciplina é gerar efeitos de rajadas de pacotes com o transbordo da fila (aumento do tráfego), e conseqüente diminuição do tempo de latência.

Analisando agora os resultados dos ensaios (Referência, AMPS e 4G) com 50 containers, executou-se mais 2 rodadas de ensaios adicionais para cada conjunto de parâmetros com alta distribuição, a fim de avaliar a repetibilidade dos resultados.

Conforme pode-se observar na figura 66, a dispersão acompanha os conjuntos de parâmetros, sendo, portanto, um resultado coerente para estudo, e não alguma anomalia experimental.

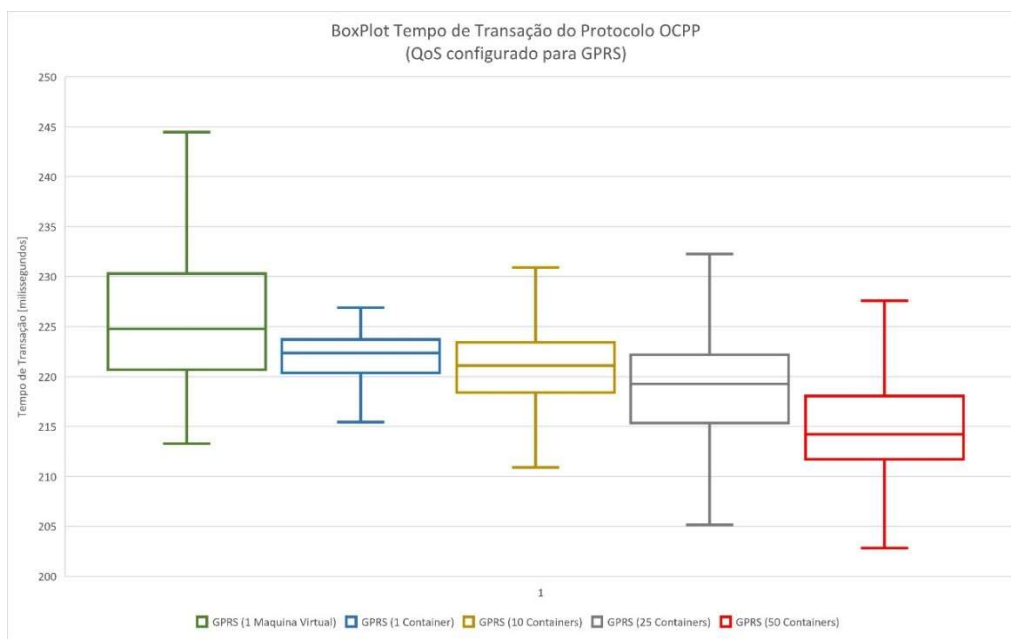
Figura 66- Gráfico de repetibilidade de valores com alta dispersão em ensaio de 50 containers



Fonte: Autor, (2021)

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios parametrizados que **não atingiram 100% de CPU**, situação em que se enquadram as tecnologias GPRS, 3G e Vsat. Conforme pode-se observar na figura 67, o ensaio de 50 containers em GPRS apresentou um aumento na dispersão do tempo, proporcional ao aumento do número de containers. Já o valor da mediana da distribuição decresceu com o aumento do número de containers.

Figura 67- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (GPRS) e com múltiplos EVSEs.



Fonte: Autor, (2021)

Pode-se observar que o ensaio na infraestrutura de máquina virtual, a mediana do tempo de comunicação OCPP decresce em 1,1% ao sistema com 1 container (aproximadamente 2ms), quando comparado a simulação 10 EVSE, a variação decresce em 1,7% e com relação ao ensaio com 50 containers, o decréscimo chega a 4,9%. Com relação a dispersão, nota-se que mesmo o ensaio de 50 containers, mantém uma dispersão menor que a máquina virtual.

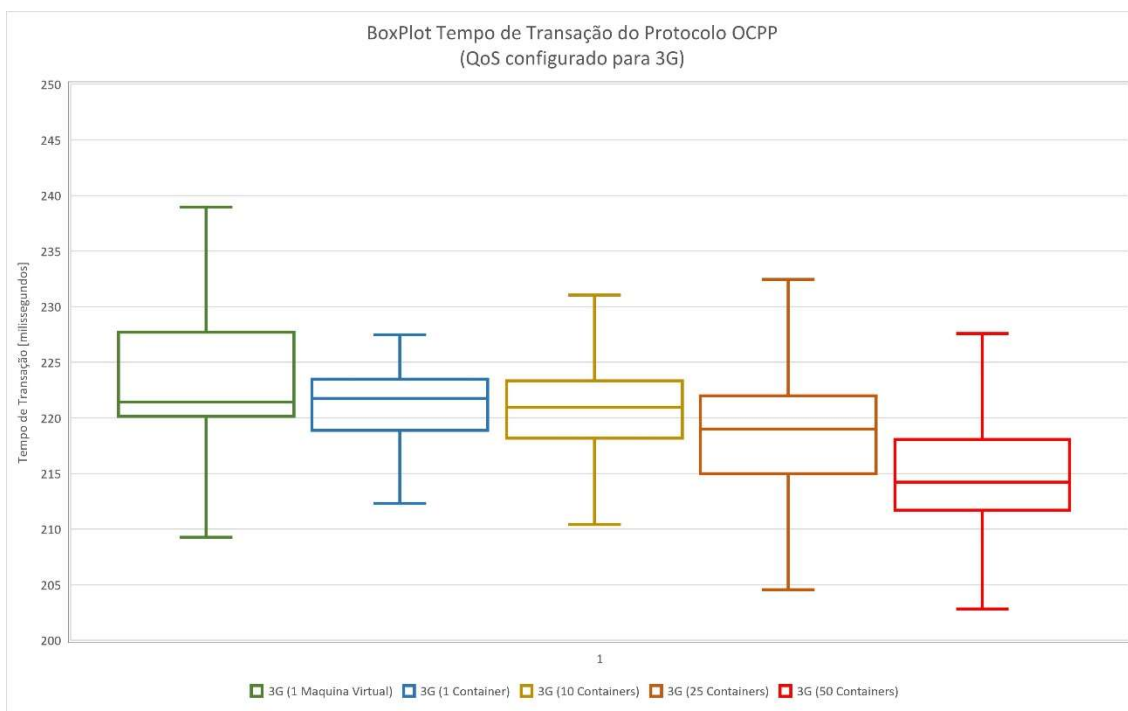
Já analisando os ensaios com a variação entre as quantidades de containers, representados pelos boxplot azul, amarelo, cinza e vermelho, respectivamente, pode-se observar o aumento da dispersão conforme aumenta-se a quantidade de containers no ensaio e a respectiva diminuição de mediana. Esta diminuição se deu em 0,6% de 1 para 10 containers, 0,8% de 10 para 25 containers e em 2,4% de 25 para 50 containers.

Com relação à tecnologia 3G, a variação possui uma mesma faixa de magnitude do GPRS. Em ambos os casos, a latência considerada é a mesma (200 milissegundos), porém existe uma diferença de vazão: para o GPRS é 50Kbps, enquanto para o 3G é 1Mbps. A consequência foi um aumento do desvio, sendo proporcional à vazão configurada.

Comparando o ensaio na infraestrutura de máquina virtual, a mediana do tempo de comunicação OCPP tem um decréscimo de 0,1% ao sistema com 1 container, quando comparado a simulação 10 EVSE, a variação chega somente a 0,2% e com relação ao ensaio com 50 containers, o tempo médio chega a 3,4% a menos. Com relação a dispersão, nota-se que mesmo o ensaio de 50 containers, mantém uma dispersão menor que a máquina virtual.

O comportamento para a tecnologia 3G pode ser observado na figura 68.

Figura 68- Gráfico comparativo dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (3G) e com múltiplos EVSEs.

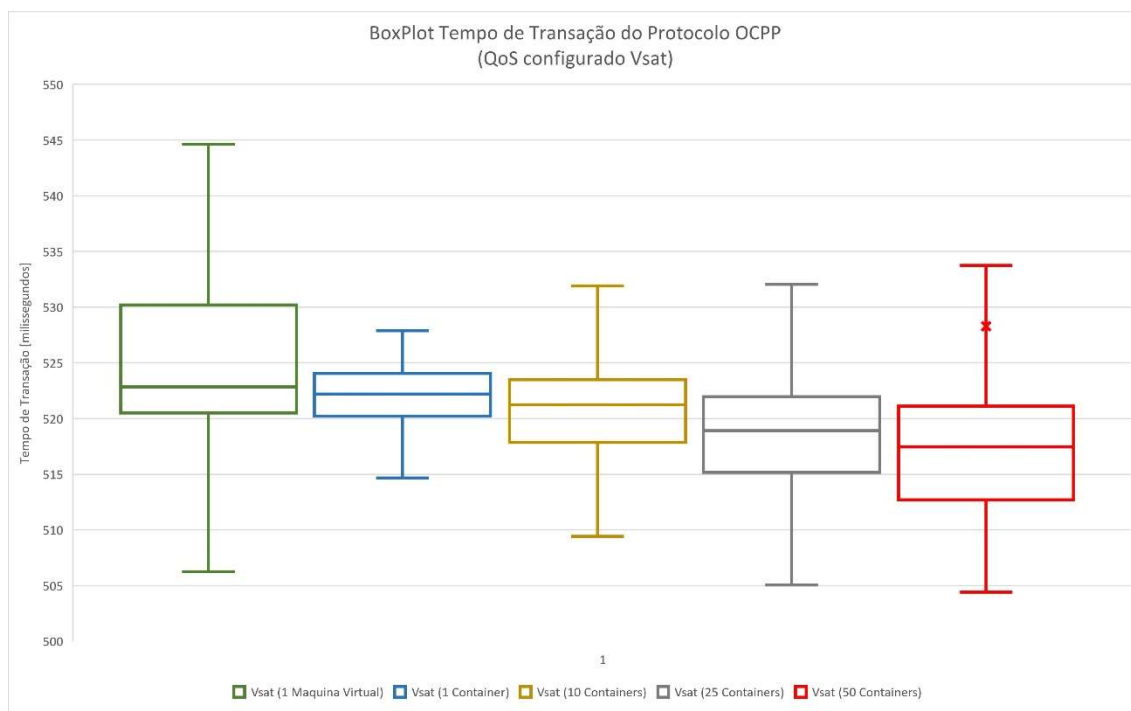


Fonte: Autor, (2021)

Observa-se que o aumento da quantidade de containers no ensaio, representados pelos boxplot azul, amarelo, laranja e vermelho, respectivamente, demonstram a tendência de aumento de dispersão e diminuição de mediana com o aumento da quantidade de containers. Novamente, observa-se a influência do aumento de tráfego de rede no processamento do algoritmo NetEm. A mediana decresce 0,3% do ensaio com 1 para 10 containers, decresce 0,9% de 10 para 25 containers e decresce 2,2% de 25 para 50 containers.

E finalmente, segundo o mesmo comportamento das configurações de 3G e GPRS, a figura 69 ilustra os resultados obtidos para a tecnologia Vsat. Nesse caso, a latência considerada é muito superior (500 milissegundos), e a vazão: para o é 5Mbps.

Figura 69- Gráfico comparativo das distribuições dos tempos de comunicação OCPP com os parâmetros de QoS (Vsat) e com múltiplos containers EVSE.



Fonte: Autor, (2021)

O ensaio na infraestrutura de máquina virtual, a mediana do tempo de comunicação OCPP decresce em 0,1% ao sistema com 1 container, quando comparado a simulação 10 EVSE, a variação decresce em 0,3% e com relação ao ensaio com 50 containers, o decréscimo chega a 1%. Com relação a dispersão, nota-se que mesmo o ensaio de 50 containers, mantém uma dispersão menor que a máquina virtual.

Já analisando os ensaios com a variação entre as quantidades de containers, representados pelos boxplot azul, amarelo, cinza e vermelho, respectivamente, pode-se observar o aumento da dispersão conforme aumenta-se a quantidade de containers no ensaio e a respectiva diminuição de mediana. Esta diminuição se deu em 0,2% de 1 para 10 containers, 0,4% de 10 para 25 containers e em 0,6% de 25 para 50 containers.

A tabela 18 apresenta um resumo dos resultados comparativos do cenário de teste 3.

Tabela 18 – Resumo dos resultados comparativos do cenário 3

Ensaio (I)	Variação Entre n EVSEs Containers						Resultados Gerais		Características		Efeito	Motivo
	10 EVSE (II)		25 EVSE		50 EVSE		Dispersão	Mediana	NetEm	100% de CPU		
Referencia	11,1%	↑ (III)	49,1%	↑↑ (VI)	68,7%	↑↑	↑↑ (1)	↑ (2)	-	S (3)	(1) Aumento da dispersão (2) Aumento da mediana	Aumento do tráfego de rede
AMPS	1,5%	↓ (V)	1,6%	↓	54,7%	↑↑	↑↑	↓ (4)	S	S (3)	(3) Aumento de processamento da CPU	Aumento do tráfego de rede Aumento na quantidade de containers.
4G	0,2%	↓	3,2%	↓	24,2%	↑↑	↑↑	↓ (4)	S	S (3)		
GPRS	0,6%	↓	0,8%	↓	2,4%	↓	↑	↓ (4)	S	N	(4) Diminuição da Mediana	Aumento do tráfego de rede gerando transbordo de fila da disciplina HTB (<i>Hierarchical Token Bucket</i>) e consequente aumento nas rajadas de pacotes, consequentemente, diminuindo o tempo de comunicação OCPP
3G	0,3%	↓	0,9%	↓	2,2%	↓	↑	↓ (4)	S	N		
Vsat	0,2%	↓	0,4%	↓	0,3%	↓	↑	↓ (4)	S	N		

Observações:

As linhas em Azul (que atingem 100% de CPU) e em Verde (os que não atingem 100% de CPU), seguem o padrão da figura 60.

(I) - Os ensaios aqui considerados os comparativos entre os ensaios com 1, 10, 25 e 50 containers, respectivamente.

(II) - Variação entre as medianas de tempo de comunicação do ensaio entre as diferentes quantidades de containers

10 EVSE - Variação dos resultados entre os ensaios com 1 EVSE e 10 EVSE

25 EVSE - Variação dos resultados entre os ensaios com 10 EVSE e 25 EVSE

50 EVSE - Variação dos resultados entre os ensaios com 25 EVSE e 50 EVSE

(III) - ↑ Indica Aumento da Mediana

(IV) - ↑↑ Indica Aumento desproporcional da Mediana (Acima de 20% entre os ensaios)
Valores destacados em **Vermelho**

(V) - ↓ Indica Diminuição da estatística entre todos os ensaios.

Fonte: Autor, (2021)

7 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender e analisar o comportamento do protocolo OCPP em um sistema de carga de veículos elétricos, considerando diferentes tecnologias de comunicação para a transmissão de dados.

Mais especificamente, foi possível, a partir de uma infraestrutura virtualizada e ferramentas *open-source*, estabelecer uma plataforma para analisar o protocolo OCPP submetido a variações de parâmetros de qualidade de serviço, a fim de simular diferentes tipos de conectividade. Esse protocolo, mesmo sendo conhecido no mercado, ainda não foi amplamente estudado do ponto de vista acadêmico. Assim, este trabalho contribuiu, também, com o desenvolvimento de uma plataforma de simulação que pode ser utilizada em estudos futuros, possibilitando que essa área possa ser melhor explorada.

O trabalho foi dividido em três cenários de teste: no primeiro, determinou-se o comportamento das infraestruturas virtualizadas em máquinas virtuais e em containers, utilizando latência (através da ferramenta Ping) e vazão (através da ferramenta Iperf). Pôde-se observar uma relação muito próxima entre os valores de latência configurados e medidos. Por outro lado, encontrou-se diferenças entre as vazões configuradas e medidas, quando a ferramenta de QoS é submetida a uma parametrização de latência relativamente elevada. Este efeito é minimizado pela configuração correta da janela TCP na ferramenta Iperf.

No segundo cenário, avaliou-se os tempos de comunicação do protocolo OCPP no cenário de um CPO se comunicando com um EVSE, nos diferentes ambientes virtualizados e com diferentes parâmetros de QoS. Constatou-se, em todos os ensaios, uma baixa dispersão dos tempos de comunicação OCPP e coerência entre os valores parametrizados com as medições realizadas. Pode-se observar também que a diferença de latência das máquinas virtuais com os containers persiste no Cenário 2.

Finalmente, no terceiro cenário, avaliou-se o comportamento do protocolo com relação ao aumento quantidade de EVSEs (containers) se comunicando com um CPO. Observou-se dois comportamentos distintos: o primeiro levou o consumo de CPU para 100% de atuação, aumentando exponencialmente a dispersão; e o segundo, com um processamento normal, manteve um aumento

relativamente baixo da dispersão. Com exceção do ensaio que não sofre influência da ferramenta NetEm, todos os outros conjuntos de parâmetros tiveram uma diminuição no valor da mediana com o aumento do tráfego.

Como não tem artigos com medições reais, tomamos como verdade o que acontece quando não temos emulação de tecnologias, onde a Mediana e Dispersão aumentam com o aumento do EVSE e portanto diminuição da Mediana é ocasionada pelo NetEm (via script `slow.sh`). Sendo assim, o ambiente tem que ser melhor avaliado quando no cenário de múltiplos EVSEs.

Como trabalhos futuros, sugere-se realizar a aquisição dos parâmetros de QoS reais para a simulação das diferentes tecnologias de comunicação (AMPS, 3G, 4G, etc.). Sugere-se, ainda a criação de arquitetura de *software* completa para avaliação de desempenho da comunicação utilizando o protocolo OCPP. Por ultimo, considerar a avaliação de diferentes disciplinas e filtros NetEm para atenuar ou eliminar o efeito da mediana nos ensaios.

BIBLIOGRAFIA

- ABDELAZIZ, A. K. . T. N. . G.-D. Y. . K. N. E. I. Anomaly-based framework for detecting power overloading cyberattacks in smart grid AMI. **Computers and Security**, 96, n. 101896, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404820301693>>.
- AE-CITY-LAB, A. E. C. L. Amsterdam Vehicle2grid. **Amsterdam Vehicle2grid**, 2017. Disponível em: <<http://www.amsterdamvehicle2grid.nl/>>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- ALCARAZ, C.; LOPEZ, J.; WOLTHUSEN, S. OCPP Protocol: Security Threats and Challenges. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 8, n. 5, p. 2452 - 2459, 15 February 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7857099/authors#authors>>.
- ANEEL, A. N. D. E. E. **Nota Técnica n o 0050/2016-SRD/ANEEL**. Brasília. 2016.
- ANEEL, A. N. D. E. E. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 819, DE 19 DE JUNHO DE 2018, Diário Oficial da União, 19 Junho 2018.
- ANFAVEA, A. N. D. F. D. V. A. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020**. São Paulo: [s.n.], 2020.
- ARTEMIS, A. R. A. T. F. E. I. I. S. IoE ARTEMIS - Internet of Energy for Electric Mobility. **ARTEMIS**, 25 april 2019. Disponível em: <http://www.artemis-ioe.eu/ioe_project.htm>.
- BRAJTERMAN, O. **Introdução de Veículos Elétricos e Impactos sobre o Setor Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro. 2016. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE.
- BULLINGTON-MCGUIRE, R. Simulates a low bandwidth, high-latency network connection. **GitHubGist Richard Bullington-McGuire**, 2012. Disponível em: <<https://gist.github.com/obscurerichard/3740206#slow>>. Acesso em: 23 may 2021.
- CAISO, C. I. S. O. **California Vehicle-Grid Integration (VGI) Roadmap: Enabling vehicle-based grid services**. Los Angeles, CA. 2014.
- CHUNG, Y.-W. et al. Ensemble machine learning-based algorithm for electric vehicle user behavior prediction. **Applied Energy**, 254, 2019.
- CLAIRAND, J.-M. et al. Electric Vehicles for Public Transportation in Power Systems: A Review of Methodologies. **Energies** 2019, v. 12, n. 16, p. 3114, 14 August 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/16/3114>>.
- DAS, H. S. et al. Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. In: **ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews**. [S.l.]: Elsevier, v. 120, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308251>>.
- DRANKA, G. G.; FERREIRA, P. Towards a smart grid power system in Brazil: Challenges and opportunities. **Energy Policy**, 136, n. 111033, January 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519306202>>.
- ELAADNL. **EV RELATED PROTOCOLS - ICT aspects of electrical vehicle charging**. Arnhem, Netherlands, p. 10. 2018.
- EL-REWINI, Z. . S. K. . S. D. F. . P. S. J. . R. P. Cybersecurity challenges in vehicular communications. **Vehicular Communications**, 23, 2020.
- EPRI smart grid Demonstration Initiative, Palo Alto, 2009.
- FERWERDA, R. et al. Advancing E-Roaming in Europe: Towards a Single “Language” for the European Charging Infrastructure, Stuttgart, Germany, v. 9, n. 4, p. 50, 7 December 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2032-6653/9/4/50#>>.

FERWERDA, R. et al. **Advancing E-Roaming in Europe: Towards a Single “Language” for the European Charging Infrastructure**. Selected Papers from The 30th International Electric Vehicles Symposium and Exhibition. Stuttgart, Germany: MDPI. 2018.

FGV, F. G. V. **Carros Elétricos**. FGV, Fundação Getulio Vargas. Rio de Janeiro, p. 112. 2017.

FROST & SULLIVAN. **Environmentally Sustainable Innovation in Automotive Manufacturing and Urban Mobility**. [S.l.]. 2016.

GESEL, G. D. E. D. S. E. **Mobilidade Elétrica: Relatório Técnico**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

GREENLOTS. **Open vs. Closed Charging Stations: Advantages and Disadvantages**. Los Angeles. 2018.

HAN, W.; XIAO, Y. Privacy preservation for V2G networks in smart grid: A survey. **Computer Communications**, 91-92, n. 27-28, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366416302572>>.

HAS-TO-BE. has-to-be eMobility. **eMobility full service provider for electromobility solutions | has-to-be**, 1 May 2020. Disponível em: <<https://has-to-be.com/en/>>.

HU, J. et al. Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 56, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115013970>>.

HUBJECT. Hsubject. **Hsubject | customer-friendly electric mobility with eRoaming**, 02 may 2020. Disponível em: <<https://www.hsubject.com/en/>>.

IEA, I. E. A. **Global EV Outlook 2020**. Paris. 2020.

IETF. RFC2544. **Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices**, march 1999. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2544>>. Acesso em: 2021 may 27.

IPERF. iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP and SCTP. **iperf**, 2015. Disponível em: <<https://iperf.fr/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

KOSSAHL, J.; BUSSE, S.; KOLBE, L. The Evolvement of Energy Informatics in the Information Systems Community - A Literature Analysis and Research Agenda. **ECIS 2012**, 2012.

MARTINENAS, S. **Enabling Technologies for Smart Grid Integration and Interoperability of Electric Vehicle (Tesis)**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

MOTLAGH, N. H. et al. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. **Energies**, v. 13, n. Sustainable Energy Systems: Efficiency and Optimization, p. 494, 19 January 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/2/494/htm>>.

NEAIMEH, M.; ANDERSEN, P. B. Mind the gap- open communication protocols for vehicle grid integration. **Energy Informatics** 3, 10 February 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1186/s42162-020-0103-1>>.

NEVES, L. C.; BAGAROLLI, A. Os desafios da implementação dos projetos-piloto de smart grid no Brasil, Campinas, 9, n. 1, 2013. 15–22.

OCA, O. C. A. Open Charge Alliance - Global Platform For Open Protocols. **Open Charge Alliance**, 20 April 2020. Disponível em: <<https://www.openchargealliance.org/>>.

ORCIONI, S. et al. **Electric Vehicles Charging Reservation Based on OCPP**. 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Palermo: [s.n.]. 2018. p. 1-6.

PRUTHVI, T. V. et al. Implementation of OCPP Protocol for Electric Vehicle Applications. **E3S Web of Conferences** 87, 01008 (2019), Volume 87, 22 February 2019. Disponível em: <<https://www.e3s->

conferences.org/articles/e3sconf/ref/2019/13/e3sconf_SeFet2019_01008/e3sconf_SeFet2019_01008.html>.

PSF - PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. OCPP - PyPI. Disponível em: <<https://pypi.org/project/ocpp/>>. Acesso em: 20 may 2021.

RAMALHO, L. **Python Fluente**. São Paulo: Novatec, 2019.

ROSA NETO, A. OCPP_PUCCAMP. **OCPP_PUCCAMP**, 28 may 2021. Disponível em: <https://github.com/netoalceu/OCPP_PUCCAMP>.

SALDAÑA, G. et al. Electric Vehicle into the Grid: Charging Methodologies Aimed at Providing Ancillary Services Considering Battery Degradation. **Energies**, v. 12, n. 2443, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/12/2443>>.

SCHMUTZLER, J.; ANDERSEN, C. A.; WIETFELD, C. **Evaluation of OCPP and IEC 61850 for smart charging electric vehicles**. World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27). Barcelona, Spain: IEEE Xplore. 2013. p. 1-12.

SPE, S. D. P. E. **Relatório da Distribuição Pessoal da Renda e da Riqueza da População Brasileira**. Brasília, DF. 2016.

STRASSER, M.; WEINER, N.; ALBAYRAK, S. The potential of interconnected service marketplaces for future mobility. **Computers & Electrical Engineering**, 45, n. 169-181, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790615002128>>.

STRIELKOWSKI, W. et al. Internet of Energy (IoE) and High-Renewables Electricity System Market Design. **Energies**, v. 12, n. 24, p. 4790, 16 December 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/24/4790>>.

TC,LINUX. tc(8) — Linux manual page. **tc(8) — Linux manual page**, 01 abr. 2021. Disponível em: <<https://man7.org/linux/man-pages/man8/tc.8.html#UNITS>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

VAIDYA, B.; MOUFTAH, H. T. **Deployment of Secure EV Charging System Using Open Charge Point Protocol**. 2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). Limassol: IEEE. 2018. p. 922-927.

VAN AMSTEL, M.; GHATIKAR, R.; WAR, A. **Importance of Open Charge Point Protocol for the Electric Vehicle Industry**. Open Charge Alliance. [S.l.]. 2016.

VERMESAN, O. et al. Internet of Energy – Connecting Energy Anywhere Anytime. In: MEYER, G.; VALLDORF, J. **Advanced Microsystems for Automotive Applications**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 33-48.

WELLISCH, D. et al. Vehicle-to-Grid AC Charging Station: An Approach for Smart Charging Development. **IFAC-PapersOnLine**, 48, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631500782X>>.

ZHANG, Y.; HUANG, T.; BOMPARD, E. F. Big data analytics in smart grids: a review. **Energy Informatics**, 8, 2018. Disponível em: <<https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-018-0007-5>>.

ZHAO, C.; YOU, X. Research and Implementation of OCPP 1.6 Protocol. In: _____ **2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation**. [S.l.]: Atlantis Press, 2017. p. 283-291.