

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA  
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO  
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

MATHEUS MORAES DE BRITO  
STEFANY CRISTINA PINHEIRO COSTA

**ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DA INFRAESTRUTURA DE  
CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E SISTEMAS DE TRANSPORTE  
INTELIGENTE**

BELÉM  
2021

MATHEUS MORAES DE BRITO  
STEFANY CRISTINA PINHEIRO COSTA

**ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DA INFRAESTRUTURA DE  
CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E SISTEMAS DE TRANSPORTE  
INTELIGENTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação na modalidade MONOGRAFIA.

Orientador: Professora MSc. Michelle Bitar Lelis dos Santos

BELÉM  
2021

**Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)**  
**Biblioteca do CESUPA, Belém – PA**

---

Brito, Matheus Moraes de

Análise da interoperabilidade da infraestrutura de carregamento dos veículos elétricos e sistemas de transporte inteligente / Matheus Moraes de Brito, Stefany Cristina Pinheiro Costa; orientadora Michelle Bitar Lelis dos Santos. – 2021.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário do Estado do Pará, Curso de Engenharia da Computação, Belém, 2021.

1. Veículos elétricos. 2. Transporte inteligente. I. Costa, Stefany Cristina Pinheiro. II. Santos, Michelle Bitar Lelis dos, orientadora. III. Título.

CDD. 23 ° ed. 005.1

---

MATHEUS MORAES DE BRITO  
STEFANY CRISTINA PINHEIRO

**ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DA INFRAESTRUTURA DE  
CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E SISTEMAS DE TRANSPORTE  
INTELIGENTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação na modalidade MONOGRAFIA.

Data da aprovação:    /    /

Nota final aluno I: \_\_\_\_\_

Nota final aluno II: \_\_\_\_\_

Banca examinadora



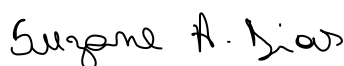
Prof. Msc. Michelle Bitar Lelis dos Santos

Orientador e Presidente da banca



Prof. Msc. Moshe Dayan Sousa Ribeiro

Examinador



Prof. Msc. Suzane Alfaia Dias

Examinador

*Ao meu pai, Daniel Chaves de Brito, e à minha  
mãe, Aucilene Moraes de Brito (in memoriam).*

*“A ciência se compõe de erros que,  
por sua vez, são os passos até a verdade.”*

Jules Verne

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me proporcionaram oportunidades para estudar, ensinaram valores simbólicos de como viver e seguir em frente, por mais que sem a presença física de minha mãe, mas as lembranças ficarão presentes para sempre em meu coração.

Agradeço a minha irmã, Ana, que sempre apoiou minhas escolhas e esteve sempre de pé para me ajudar e me dar carona da faculdade para casa.

Agradeço a minha família e a Salete, que me apoiaram e sempre trouxeram grandes exemplos de vida, aliviaram as tensões nos encontros que sempre renderam boas diversões e companheirismo que vivi durante a jornada de estudos.

Agradeço aos meus amigos, Ana, Felipe, Flávio, Gabriel, Rubens, entre outros, que compartilharam de bons momentos durante o período de graduação, sempre com muita alegria.

Agradeço a amiga e colega, Stefany, que ajudou na parceria da construção do trabalho e na vida, sempre com boas ideias e risadas.

Sou grato pela professora e orientadora, Michelle, por estar presente durante todo o curso, nos repassar a paixão pela área escolhida e pelo reconhecimento do nosso potencial como alunos e profissionais.

**Matheus Moraes de Brito**

## **AGRADECIMENTOS**

Sou eternamente grata pelo apoio dos meus pais por permitir que a educação seja um caminho possível em minha vida. Agradeço à minha mãe por sempre acreditar em mim em momentos que não fui capaz de acreditar. Essa oportunidade não seria viável sem o esforço e dedicação incansável de minha mãe que sempre será meu maior exemplo através de sua força.

Sou grata pelo amor e apoio incondicional de minha família. Agradeço aos meus avós por serem o pilar dessa família.

Agradeço pela amizade e companheirismo de meu amigo Matheus pelos bons momentos e histórias compartilhadas, além da calma transmitida em momentos necessários.

À nossa orientadora, Michelle, por todo o incentivo e ensinamentos durante a faculdade. O entusiasmo compartilhado foi essencial durante essa jornada por somar em momentos cruciais tornando o processo mais leve.

**Stefany Pinheiro**



## RESUMO

O crescimento da urbanização e industrialização de capitais mundiais foi expressivo nas últimas décadas, porém problemas com poluição, escassez de combustíveis fósseis e congestionamentos constantes ameaçam a decorrência da eficiência do desenvolvimento urbano. Os veículos elétricos são uma opção promissora na contribuição da diversificação energética e alternativa às formas de transporte poluentes comumente utilizadas na infraestrutura de vias urbanas e rurais, apesar das diferenças entre duração de tempo de recarga e reabastecimento entre os tipos de veículos. Os sistemas de transporte inteligente representam a implementação de tecnologias avançadas na realidade de transporte para sensoriar e processar as condições de vias para melhorar a fluidez do tráfego e evitar acidentes. Em ordem de melhorar a eficácia do carregamento de veículos elétricos, a pesquisa propõe a integração de infraestrutura de recarga com sistemas de transporte inteligente como forma de assistir motoristas e empresas que buscam aderir à nova tendência ecológica.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos. Sistema de transporte inteligente. Mobilidade.

## **ABSTRACT**

The urbanization growth and world capitals industrialization were expressive in the last decades, although pollution problems, fuel and constant congestions threaten the efficiency of urban development. Electric vehicles are a promising option to contribute in the energy diversification and an alternative to polluting forms commonly used in urban and rural road infrastructure, despite the differences between the duration recharging and refueling times between the types of vehicles. The intelligent transportation systems represent the implementation of transport advanced technologies to sense and process road conditions to improve traffic fluidity and avoid accidents. In order to improve the efficiency of electric vehicle charging, the research proposes the integration of recharge infrastructure with intelligent transportation systems as a way of assisting drivers and companies seeking to join the new ecological trend.

**Keywords:** Electric vehicle. Intelligent transportation system. Mobility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estoque global de carros elétricos entre 2010 e 2019.....	16
Figura 2	Gráfico de novos registros de ônibus elétricos por país/região entre 2015-2019.....	17
Figura 3	Cenário de cidades inteligentes.....	18
Figura 4	Modelo de integração de STI e estações de recarga.....	23
Figura 5	Visão geral do sistema de gerenciamento proposto.....	24
Figura 6	Gráfico de emissão anual de CO <sub>2</sub> .....	27
Figura 7	Veículo elétrico a bateria.....	33
Figura 8	Frenagem regenerativa.....	34
Figura 9	Veículo elétrico híbrido.....	35
Figura 10	Veículo elétrico plug-in.....	36
Figura 11	Tipos de conectores mais populares para carregamento DC <i>fast</i> .....	37
Figura 12	Tipos de conectores de carregamento AC.....	38
Figura 13	Gráfico de carregadores slow para veículos elétricos privados por país.....	40
Figura 14	Gráfico de carregadores rápidos para veículos elétricos acessíveis ao público por país.....	41
Figura 15	Gráfico de carregadores slow para veículos elétricos acessíveis ao público.....	42
Figura 16	Exemplos de sensores presentes em veículos.....	48
Figura 17	Aplicações com tecnologias de comunicação em cidades inteligentes.....	53
Figura 18	Sistemas V2V e V2I.....	56

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Nível 1, Nível 2 e carregamento rápido DC

39

## LISTA DE SIGLAS

3G - Terceira Geração de Redes Móveis

4G - Quarta Geração de Redes Móveis

5G - Quinta Geração de Redes Móveis

GPS - *Global Positioning System*

IEA - *International Energy Agency*

IoT - *Internet of Things*

LTE - *Long Term Evolution*

LTE-A - *Long Term Evolution-Advanced*

MCI - Motor de Combustão Interna

STI - Sistema de Transporte Inteligente

V2V - *Vehicle-to-Vehicle*

V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*

V2X - *Vehicle-to-Everything*

VE - Veículo Elétrico

VEB - Veículo Elétrico a Bateria

VEH - Veículo Elétrico Híbrido

VEHP - Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*

VEP - Veículo Elétrico *Plug-in*

WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO	20
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b>	<b>20</b>
<b>1.2.1 Objetivos Específicos</b>	<b>20</b>
1.3 JUSTIFICATIVA	21
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA	22
1.5 TRABALHOS RELACIONADOS	22
<b>2 VEÍCULOS ELÉTRICOS</b>	<b>26</b>
2.1 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	31
<b>2.1.1 Veículos elétricos a bateria (VEB)</b>	<b>32</b>
2.1.2 Veículo elétrico híbrido (VEH)	33
<b>2.1.3 Veículos Elétricos Plug-in (VEP)</b>	<b>35</b>
2.2 PADRÕES DE CARREGAMENTO	37
<b>2.2.1 Categorias de recarga</b>	<b>38</b>
2.3 INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO	39
<b>3 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE</b>	<b>45</b>
3.1 TECNOLOGIAS	49
3.2 COMUNICAÇÃO	51
<b>4 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE E VEÍCULOS ELÉTRICOS</b>	<b>55</b>
<b>5 CENÁRIO ATUAL</b>	<b>59</b>
5.1 CENÁRIO MUNDIAL	59
5.2 CENÁRIO NACIONAL	60
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>62</b>
6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS	63
6.2 TRABALHOS FUTUROS	63
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Veículo Elétrico (VE) foi inserido no cotidiano mundial devido aos crescentes problemas advindos da industrialização e globalização, que se deu início na revolução industrial, pela descoberta da máquina a vapor e a poluição gerada das fumaças. Na época, a adoção de veículos movidos a queima de combustível aconteceu em massa pela eficiência na distância percorrida, e descobertas sobre fontes de petróleo para produção de combustível para abastecer os veículos (MARTINS *et al.*, 2015).

Como proposta sustentável e inovadora de utilizar apenas eletricidade para a locomoção dos veículos, os veículos elétricos são os substitutos para a instalação de transportes limpos, promovendo o uso sustentável de energia e abordando problemas como as mudanças climáticas e qualidade do ar, amenizando os efeitos da poluição instalada na sociedade. Inicialmente, os VEs fizeram parte da história juntamente dos demais veículos com motor de combustão interna, porém devido ao elevado custo de produção, o projeto não evoluiu por parte das fabricantes da época. Mesmo com descobertas inovadoras sobre novas tecnologias de baterias, a eficiência e autonomia eram discrepantes aos Motores de Combustão Interna (MCIs) (BARAN; LEGEY, 2010; CAI, 2017).

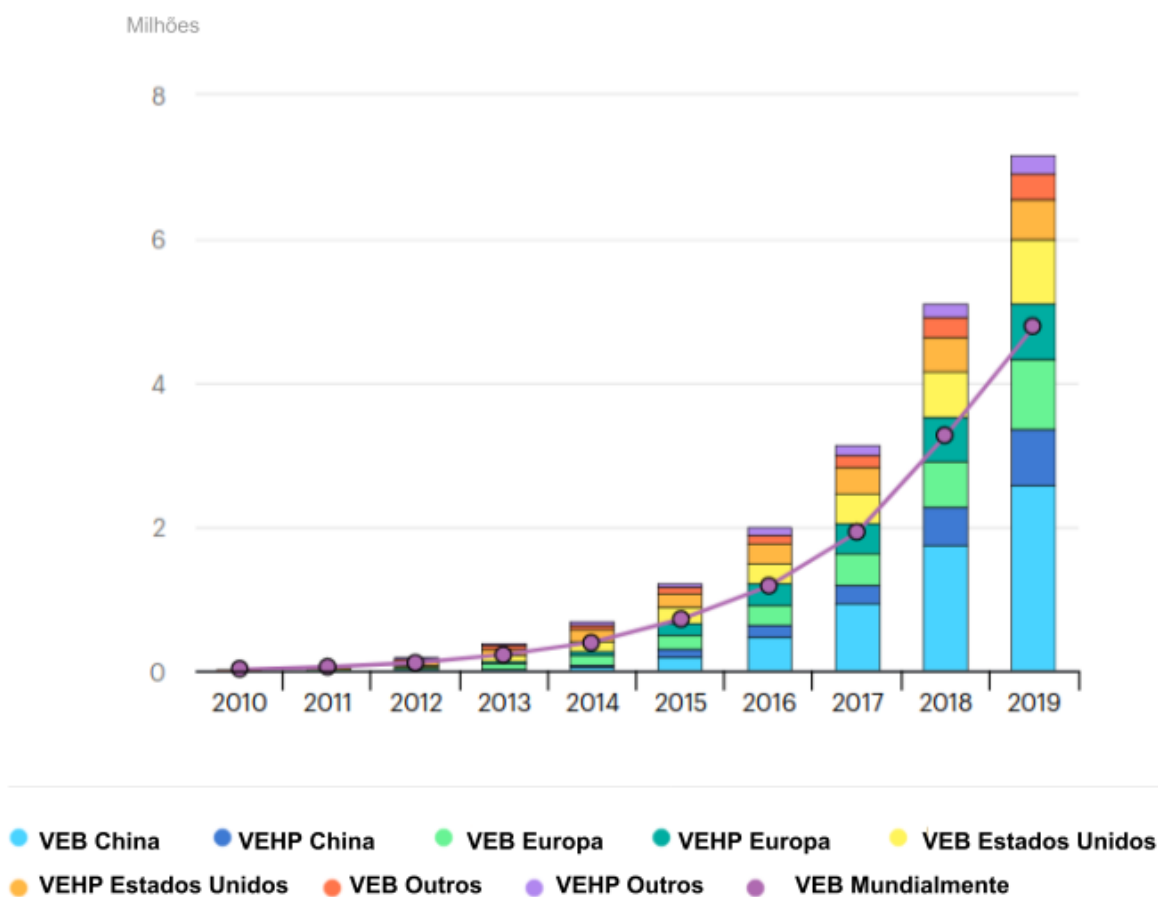
Entretanto, na conjuntura atual, os VEs têm maior difusão na escolha de veículos de uso pessoal e também como transporte público, devido a maior atenção da sociedade para causas ambientais e alerta sobre a integridade do meio ambiente ameaçada. Nos EUA, o departamento de energia investiu 115 milhões de dólares para construir uma infraestrutura internacional de carregamento, contando com estações residenciais, comerciais e públicas ao longo do país (MATULKA, 2014).

A popularidade dos veículos elétricos é crescente, esse cenário é atribuído ao crescimento das preocupações acerca de emissões de gases e esgotamento dos recursos fósseis (QINGLONG *et al.*, 2015). Os automóveis categorizados como elétricos passaram por um significativo crescimento em vendas, e por consequência, na frota nos últimos anos. Segundo a IEA (International Energy Agency), as vendas de carros elétricos atingiram 2,1 milhões globalmente em 2019, superando 2018 devido às vantagens em relação ao carro movido a gasolina, tanto no transporte verde, quanto na eficiência de custos. Sendo registrado um crescimento de 40% de

ano a ano, políticas de suporte e avanços tecnológicos são o sustento da expansão da frota de VEs (IEA, 2020). Na Figura 1, é possível analisar tal crescimento.

Em relação ao transporte público, estima-se que 500 mil ônibus elétricos estão em circulação ao redor do mundo, os quais a maioria se encontra na China. Mesmo com cortes de subsídios, por parte do governo chinês em 2016, devido a fraudes em algumas empresas (CUI, 2017), a frota de ônibus em centros urbanos chineses é quase inteiramente elétrica. O emprego de transporte elétrico público contribui para melhor qualidade do ar e, tal preocupação leva a eletrificação de ônibus em outras regiões do mundo, como em Santiago do Chile, com a maior frota de 71 ônibus urbanos elétricos além da China (IEA, 2020). A Figura 2, ilustra o crescimento da adoção de ônibus elétricos.

Figura 1 - Gráfico estoque global de carros elétricos entre 2010 e 2019

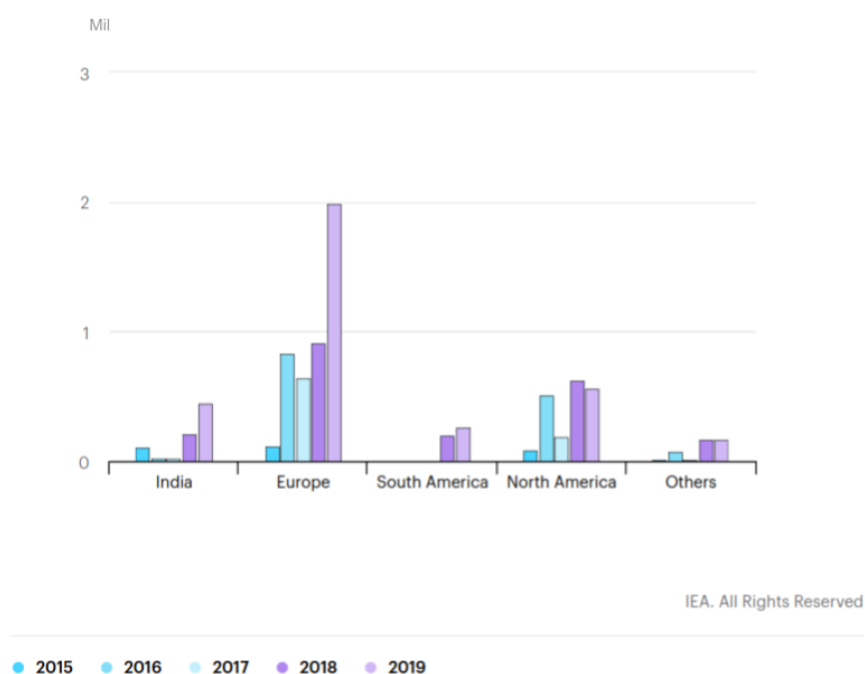


Fonte: IEA (2020, online)



Com a quarta revolução industrial, os avanços nas tecnologias da informação e mídias sociais obteve um crescimento exponencial, introduzindo sistemas ciberfísicos na indústria e no cotidiano da sociedade, tornando centros urbanos no conceito de Cidades Inteligentes. A “Indústria 4.0” chega com o propósito de intensificar a produção com alto processamento de grandes volumes de dados, comunicação em rede aplicada a objetos físicos (“Internet das Coisas”), gerência do ciclo de vida dos produtos e a utilização de inteligência artificial e ferramentas digitais nas fábricas (FINOGEEV *et al.*, 2019).

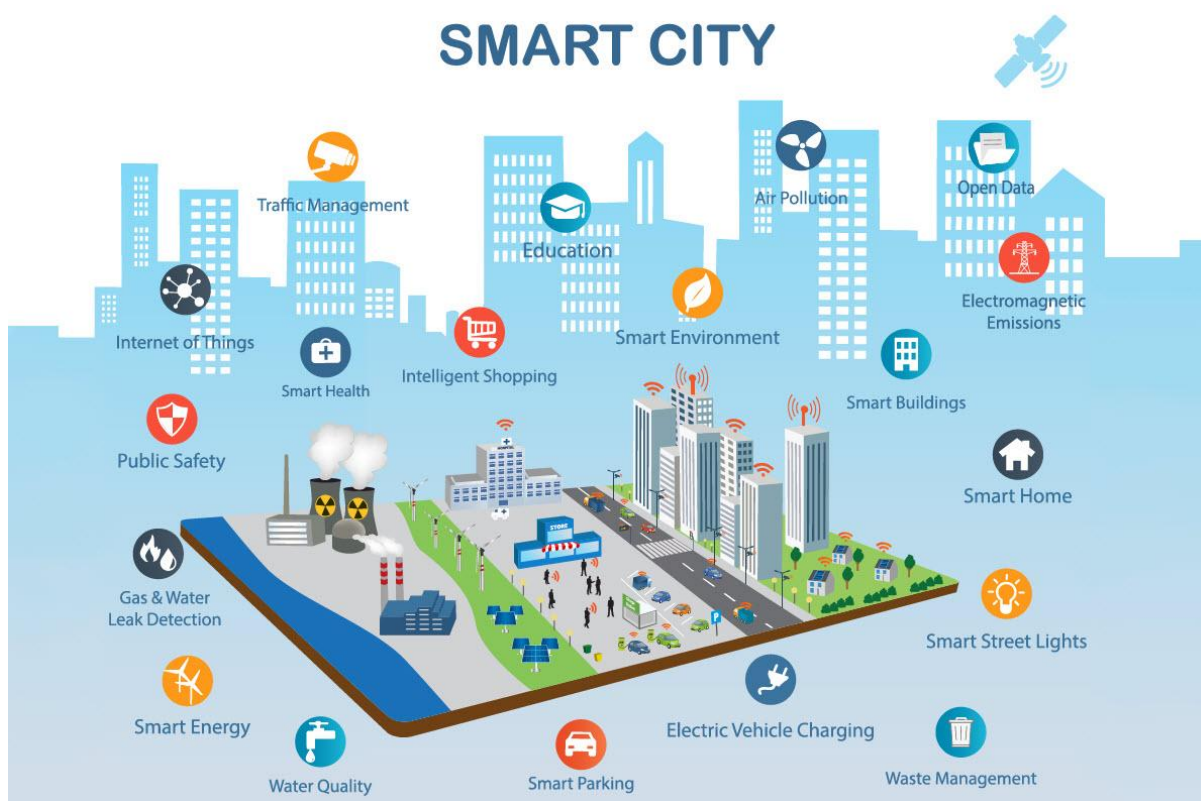
Figura 2 - Gráfico de novos registros de ônibus elétricos por país/região entre 2015-2019



Fonte: IEA (2020, online)

As inovações na indústria atual permitem a criação e implementação de projetos, tecnologias e ferramentas na estrutura das cidades para torná-las inteligentes. Os projetos para a estrutura do conceito propõem tornar inteligente casas, iluminações, mobilidade, estradas e o uso da eletricidade. Com a implementação da computação pervasiva nos elementos de cidades, a geração de dados é imprescindível para sistemas de inteligência artificial treinar a automatização dos processos, facilitando a eficiência (FINOGEEV *et al.*, 2019; KON; SANTANA, 2016). A Figura 3 evidencia esse cenário das cidades inteligentes.

Figura 3 - Cenário de cidades inteligentes



Fonte: ACETECH (online)

Na mobilidade urbana é possível encontrar diversos problemas, como alta taxa de acidentes, congestionamento de tráfego, entre outros. Devido a essas complexidades, tecnologias foram integradas com o transporte, sendo conhecido como Sistema de Transporte Inteligente (STI). A partir disso, integrar as tecnologias virtuais na mobilidade desempenha um papel vital para solucionar tais problemas. O STI pode desempenhar um papel importante na redução de riscos, acidentes e congestionamentos e, por outro lado, pode aumentar a segurança e confiabilidade, velocidade de viagem e fluxo de tráfego satisfatórios. O STI pode ser considerado multimodal incorporando dispositivos móveis pessoais, veículos, infraestrutura e redes de informação para operações do sistema (QURESHI; ABDULLAH, 2013).

Dessa forma, o STI irá produzir uma grande quantidade de dados, que terão grande impacto no projeto e aplicações desse sistema na mobilidade como um todo. Ao abranger tecnologias avançadas, como sensores, transmissão de dados e tecnologias de controle inteligente, essas podem ser obtidas de diferentes fontes,

como por *smart card*, GPS, sensores, redes sociais entre outros (ZHU *et al.*, 2018). Por exemplo, dados do sistema de posicionamento global, do inglês global positioning system (GPS), podem ser utilizados para fazer análises e previsão do comportamento do usuário no tráfego (ZHANG *et al.*, 2011).

A integração dos sistemas de transporte inteligente é necessária para que haja controle e melhoria da mobilidade em ruas e estradas, uma vez que soluções ubíquas, dinâmicas e escaláveis apresentam grande contribuição na viabilização do controle de tráfego. Dessa forma, os STIs utilizam dados, comunicação e computação como forma de gerenciar o tráfego, permitindo melhor controle de acordo com condições em tempo real. O sistema conta com a presença de antenas e estações de controle que mediam tal comunicação na infraestrutura física e as redes veiculares surgem no contexto da comunicação direta entre os veículos (QU *et al.*, 2010).

Além disso, as redes veiculares fazem parte das tecnologias recentes de Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* - IoT), como a tecnologia de comunicação *vehicle-to-vehicle*, *vehicle-to-infrastructure*, estações de carga e malha inteligente são importantes oportunidades para um futuro ecologicamente positivo. As informações em tempo real podem melhorar a mobilidade em geral e para os veículos elétricos, tais informações podem ajudar estações de recarga a otimizarem a operação e preparar para demandas futuras. Informações em tempo real de estradas e redes elétricas podem otimizar o percurso de viagem para veículos elétricos, reduzindo consumo de energia e congestionamento (CAI *et al.*, 2017).

Com processamento de dados coletados no cotidiano, de vias de automóveis e inteligência distribuída e pervasiva, ao longo dos dispositivos do sistema de transporte, é possível propor melhorias nos veículos, no tráfego, na segurança, eficiência e sustentabilidade dos transportes (QU *et al.*, 2010). Portanto, os STIs fornecem informações imprescindíveis, como posição do veículo, direção e informações de velocidade, para um melhor desenvolvimento do sistema de gerenciamento de carga eficiente para VEs, pela possibilidade de previsão de estações de recarga quando necessário (JAVED *et al.*, 2018).

## 1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA

É de suma importância analisar a autonomia do veículo elétrico, que se torna limitada de acordo com a frequência de recarga. A necessidade constante do carregamento dos veículos movidos a bateria tem como consequência um possível congestionamento nos pontos de recarga, uma vez que com o crescimento dos veículos elétricos na mobilidade urbana, os congestionamentos ocorreriam com maior frequência. Portanto, torna-se imprescindível a organização da demanda por recarga, com o estabelecimento de diversos meios de infraestrutura de comunicação aplicado no meio urbano (CAO *et al.*, 2018).

As cidades inteligentes integram diversas possibilidades de conectividade entre dispositivos e uma rede inteligente, que podem ser aplicados na coleta de dados, sejam eles do meio urbano ou dos usuários, e previsões de situações do cotidiano. Diante disso, levanta-se a questão - Como os sistemas de transporte inteligente irão contribuir na melhoria do carregamento de veículos elétricos? Tal questionamento tem como objetivo levantar argumentos sobre a importância da conectividade nos sistemas de veículos elétricos e com propósito de melhoria do carregamento.

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

### 1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo analisar o impacto do sistema de transporte inteligente no carregamento de veículos elétricos no cenário das cidades inteligentes.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Compreender a estrutura dos veículos elétricos;
- Estudar tecnologias de comunicação aplicadas no ambiente de cidades inteligentes;
- Analisar tipos de comunicação veicular e formas de conectividade;
- Propor a integração de veículos elétricos com tecnologias de comunicação através dos sistemas de transporte inteligente.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os veículos elétricos fazem parte das tecnologias revolucionárias com potencial de impacto na performance dos sistemas de transporte futuro. Contudo, o crescimento constante da adoção de VEs depende do suporte de uma infraestrutura de carregamento em expansão (LOKHANDWALA; CAI, 2020). No entanto, conforme a participação do veículo elétrico aumenta, a infraestrutura de carregamento também precisará expandir para suportar as demandas de carregamento. O tempo gasto na estação de recarga pode reduzir a disponibilidade do veículo, assim como a qualidade do serviço e prolongar o tempo de espera dos passageiros. O planejamento da infraestrutura de carregamento precisa considerar essas possibilidades.

Como analisado em (EGNÉR; TROSVIK, 2018), um número maior de pontos de carregamentos públicos têm um impacto significativo e positivo na adoção do veículo elétrico movido a bateria, especialmente em municípios urbanos. Uma possível expansão da infraestrutura de carregamento é indicada como uma medida eficiente para promover os VEs. Ajustar a infraestrutura do sistema de carregamento dos veículos às características municipais pode aumentar a eficácia do seu funcionamento. Para uma implantação efetiva dessa estrutura, é importante que a distribuição de pontos de carregamento seja feita de acordo com particularidades da região.

Devido a introdução de veículos elétricos ao contexto urbano, as tecnologias presentes nas cidades inteligentes podem ser aplicadas à mobilidade urbana ao propor melhorias no sistema recente de carregamento, evitando congestionamento de demandas de estações de carregamento (MUKHERJEE; GUPTA, 2015)

Com o avanço e a popularidade das redes móveis, diversas aplicações são desenvolvidas na área visando a conectividade de dispositivos e pessoas ao meio digital. A partir dessa tendência, a realidade das cidades inteligentes vêm sendo aplicadas ao contexto urbano com maior ênfase, devido ao desenvolvimento constante da eletrônica e das telecomunicações (FOUNOUN; HAYAR, 2018).

Nesse contexto, propõe-se colaborar com literatura acadêmica analisando a importância e contribuição do sistema de transporte inteligente ao usar a troca de dados de diferentes STIs, uma vez que as condições de tráfego afetam o tempo de

chegada do VE aos sistemas de carregamento. A integração dos veículos elétricos com os sistemas inteligentes se torna essencial para garantir a melhoria da experiência e funcionamento das redes de distribuição. É importante que seja feita a análise de todos os cenários dos sistemas veiculares, como segurança e privacidade, sistemas centralizados e descentralizados e tecnologias de comunicação.

#### 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O trabalho consiste em uma análise crítica a partir de duas vertentes sendo essas o impacto dos sistemas de transporte inteligente aplicado ao cenário de veículos elétricos. A partir de revisões exploratórias e descritivas, busca-se compreender o impacto, desde eventuais melhorias até possíveis dificuldades, dos STI integrados ao sistema de VEs, tendo como prioridade analisar o comportamento do carregamento.

Para alcançar os resultados acerca do que foi proposto, serão realizadas consultas em diversas referências e estudos, como artigos. Dessa forma, a partir dos resultados da análise sobre melhorias no sistema de carregamento nos pontos de recarga, busca-se realizar uma projeção no cenário nacional.

#### 1.5 TRABALHOS RELACIONADOS

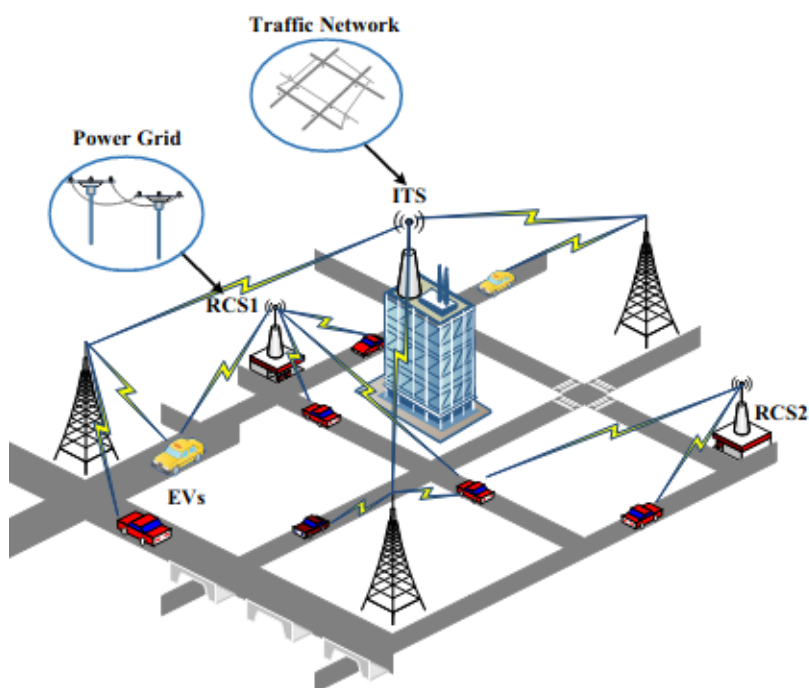
Por conta disso, o avanço da integração de sistemas de telecomunicação à infraestrutura de rede elétrica da região e aos veículos elétricos se torna essencial para tornar eficiente o carregamento, pois a conectividade disponibiliza troca de informações necessárias para indicar pontos de carregamento. Estabelecendo o Sistema de Transporte Inteligente (STI) um forte aliado na evolução e praticidade dos carros elétricos (CAO *et al.*, 2018).

(CAO *et al.*, 2018) propõe um sistema de gerenciamento de carregamento de VEs, levando em consideração a tomada de decisão na seleção das estações de carregamento e, também, uma forma de gerenciar os planos de carregamentos dos veículos para minimizar a duração da viagem dos motoristas. Os autores consideraram reservas para um carregamento antecipado e o tempo estacionado

durante a recarga. Essa proposta lida com a incerteza da mobilidade dos VEs que poderiam não alcançar o ponto de carregamento escolhido a tempo. Os resultados da simulação, tendo a cidade de Helsinque como cenário, mostram vantagens em termos da redução do tempo de viagem dos motoristas e maior desempenho do carregamento.

Em (MO, *et al.*, 2019), os autores ressaltam que uma estratégia de carregamento não ordenada afeta a estabilidade especialmente durante momentos de pico. Por isso, torna-se necessário o modo de carregamento rápido, no qual VEs seriam carregados em um período de tempo mais curto. No trabalho, é proposto uma estratégia de navegação de carregamento ideal/ótima para VEs de carregamento rápido levando em consideração a operação da rede de energia e as informações de tráfego em tempo real. A partir dessa abordagem pode-se evitar sobrecarga e mitigar o pico de recargas na rede de distribuição, foi analisado, também, o custo total com a estratégia de caminho mais curto.

Figura 4 - Modelo de integração de STI e estações de recarga

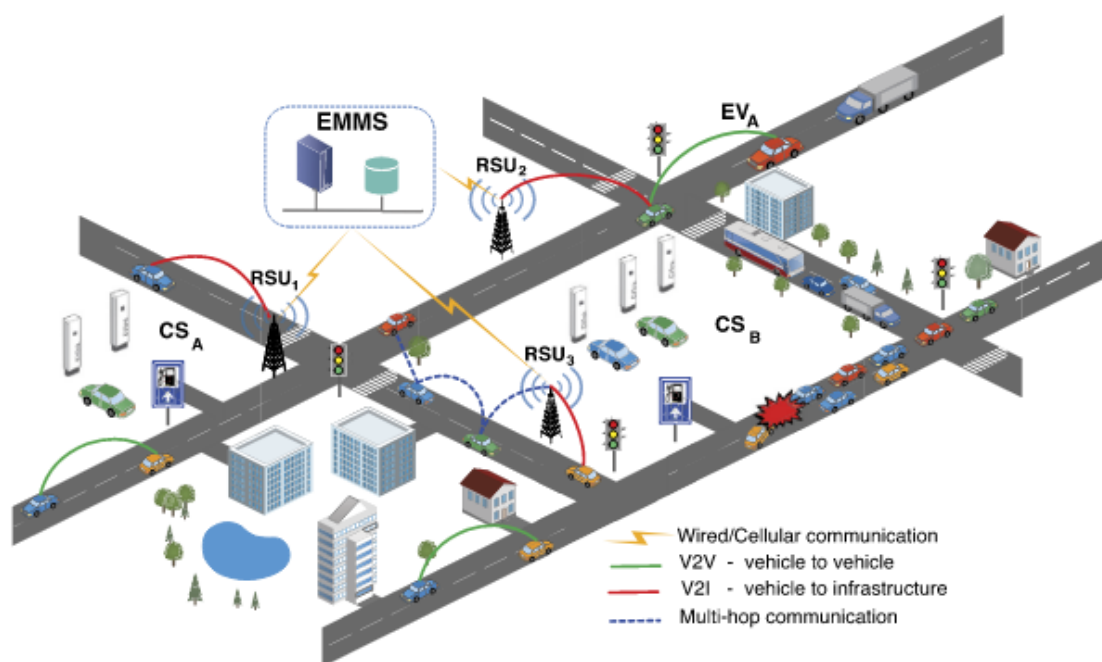


Fonte: MO, *et al.* 2019

O modelo proposto (MO, *et al.* 2019), conforme a Figura 4, é um sistema abrangente que contém três partes: o centro do sistema de transporte inteligente (ITS), estação de carregamento rápido (RCS) e terminais VE. Os dados de tráfego em tempo real e informação de operação da rede elétrica são coletados e calculados em um modelo distribuído por meio das redes IoT. Os RCSs coletam os dados da malha energética, enquanto que o ITS coleta dados do tráfego em tempo real.

Para estimar esse tempo total da viagem, o esquema proposto (BAUTISTA, *et al.* 2019) leva em consideração a velocidade média da estrada, semáforos e distância da rota até o ponto final. O ponto de carregamento que estiver dentro do tempo mínimo do serviço de carregamento é sugerido ao VE como opção. Dois modos de comunicação com base nos protocolos de roteamento geográfico para redes veiculares foram introduzidos para obter a reserva. Os resultados da simulação indicaram que, com o esquema de carregamento, o tempo de recarga é reduzido.

Figura 5 - Visão geral do sistema de gerenciamento proposto



Fonte: BAUTISTA, *et al.* (2019, online)

Devido ao tempo de carregamento e estações sobrecarregadas, usuários de VEs podem sofrer alguns problemas. Os autores (BAUTISTA, *et al.* 2019), citam que



os STIs e as tecnologias de veículos conectados podem melhorar o serviço de carregamento dos VEs em um tempo eficiente e real. O trabalho propõe um gerenciamento dos carregamentos focando na seleção dos pontos de carregamento (Figura 5), com a reserva antecipada por meio de uma rede veicular *ad hoc*, considerada uma estrutura de comunicação com boa relação custo-benefício. Admitiu-se dois aspectos, entre eles, o tempo total de viagem do VE até chegar à estação desejada e um custo definido nesta distância, o segundo aspecto é o atraso de comunicação do protocolo de roteamento da rede veicular.

## 2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Na primeira revolução industrial, quando foi inventada a máquina a vapor (CURADO, 2020) e sua aplicação na área têxtil, foi levado em consideração os meios de transporte utilizados na época. A locomotiva foi inventada a partir da inserção do motor a vapor em vagões para deslizar em trilhos, e em seguida foram projetados os primeiros automóveis. Segundo a Associação de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Ribeirão Preto, há pelo menos 110 anos, se estabeleceu a área da engenharia especializada na fabricação de automóveis em escala industrial (AEAARP, 2016).

Entende-se por automóvel todo veículo que se move por meio de propulsão, seja ele a vapor, elétrico ou combustão interna, como o primeiro automóvel sendo criado pelo engenheiro de guerra francês Nicolas-Joseph Cugnot, sendo movido a vapor. Foi então dado início a pesquisa por motores com maior potência para o maquinário da revolução industrial, sendo descoberto o motor de combustão interna em 1876, pelo engenheiro alemão Nicolaus Otto, similar aos motores atuais.

Entretanto, a adoção dos automóveis e outros mecanismos movidos a partir da queima de combustíveis mostra seu lado negativo com impactos ambientais com a poluição e o consumo de petróleo (BRAUN *et al.*, 2004). Com a expansão da indústria e de áreas urbanas, a poluição atmosférica teve um aumento considerável, ameaçando a saúde humana e da natureza com gases nocivos, chuvas ácidas e efeito estufa (SANTOS, 2016). Na Figura 6, é possível observar o crescimento das emissões de dióxido de carbono.

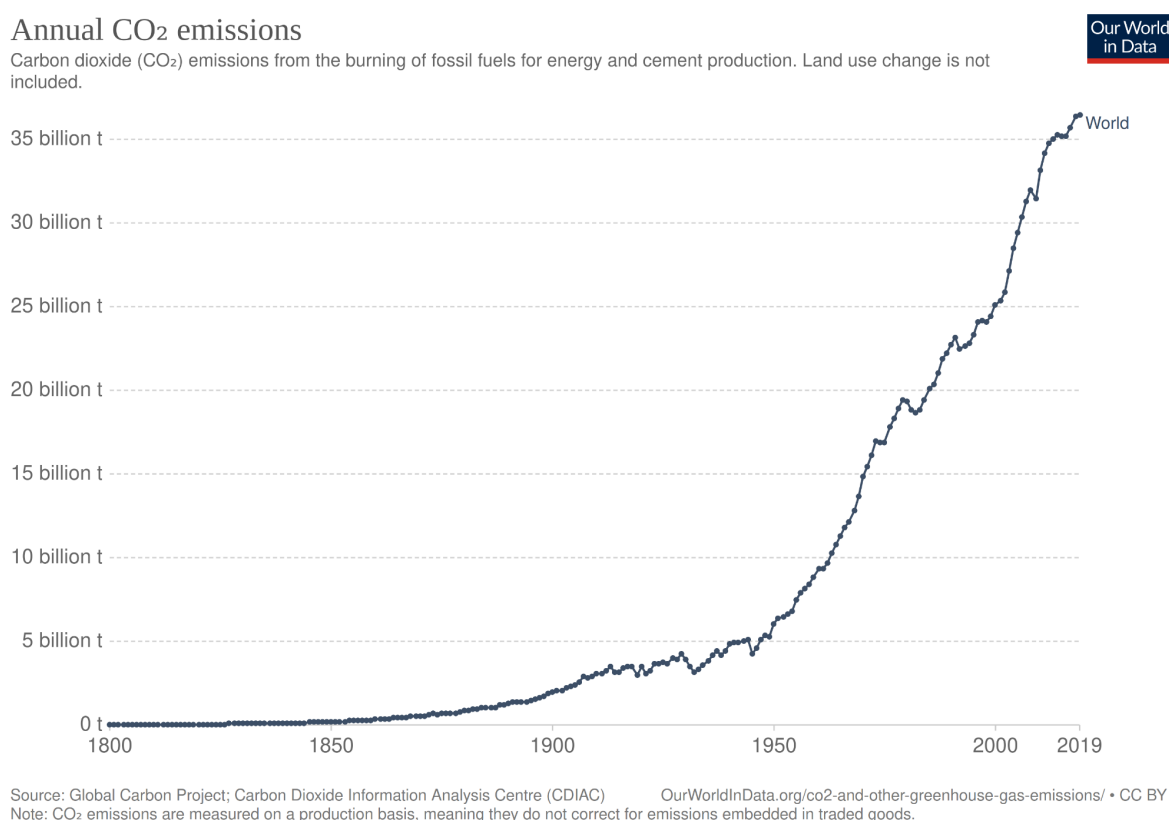
Dessa forma, os automóveis movidos a eletricidade possuem uma importância econômica e ambiental para a sociedade (BARAN; LEGEY, 2010). As invenções da bateria de chumbo e ácido por Gaston Planté em 1859, e a bateria de níquel-ferro, criada por Thomas Edison, são responsáveis por dar vida ao projeto dos automóveis com motores elétricos, dentre outros dispositivos como a frenagem regenerativa, que transforma energia cinética em energia elétrica, e o sistema híbrido de gasolina e eletricidade.

A popularidade dos veículos elétricos foi expoente no início do século XX, por exemplo, na cidade de Nova York, cerca de 20% da frota de automóveis registrados eram elétricos (STRUBEN; STERMAN, 2006). Ao longo dos anos, quando trinta mil

veículos elétricos foram registrados, os veículos movidos a gasolina somavam trinta vezes essa quantidade. Isto se deve ao sistema de produção criado por Henry Ford, que diminuiu o preço do automóvel, e ao desenvolvimento de estradas intermunicipais mais extensas que demandavam maior autonomia prolongada dos meios de transporte.

De acordo com Høyer (2008), do mesmo modo que a vantagem dos motores híbridos em compensar a baixa eficiência das baterias se torna um atrativo para a época de difusão da tecnologia, a complexidade da manutenção do sistema elétrico era maior comparado ao sistema mecânico da combustão interna. Além disso, foi preferível a utilização dos veículos elétricos em períodos de escassez de recursos, como nas guerras mundiais onde era necessário o racionamento, com maior preferência durante esse período.

Figura 6 - Gráfico de emissão anual de CO<sub>2</sub>



Fonte: Ritchie; Roser (online, 2019)

Após esse período, na década de 1960, devido às crescentes taxas de poluição atmosférica e o encarecimento dos preços do petróleo, se popularizou a pesquisa e planejamento de veículos elétricos, assim como pela não utilização, até o momento, de filtros e catalisadores para controlar os gases nocivos expelidos (MATULKA, 2014). A NASA, em projetos espaciais, ajudou na pesquisa e desenvolvimento dos veículos elétricos com a aplicação no veículo lunar de 1971. No entanto, os automóveis elétricos produzidos na década de 70 não superaram veículos com motores de combustão interna em autonomia e velocidade.

Na década de 1990, mesmo com a queda de popularidade, foi observado o avanço do desenvolvimento dos automóveis elétricos pela aprovação de algumas regulamentações nos EUA. A solução das montadoras foi, predominantemente, a adaptação de carros existentes para o sistema elétrico, pois eles já alcançavam a performance de carros movidos a gasolina. Na época, a montadora General Motors planejou o primeiro carro elétrico, ao invés de uma adaptação de outros carros, capaz de percorrer oitenta milhas e com aceleração de zero a cinquenta milhas em sete segundos, porém não foi comercializado devido ao alto custo de produção.

No fim do século XX e início do século XXI, os veículos elétricos tomaram um novo rumo com o lançamento do Toyota Prius, no Japão, em 1997, que se tornou o primeiro veículo híbrido produzido em massa do mundo (MATULKA, 2014). Além disso, outro evento que remodelou a ideia dos veículos elétricos foi o anúncio, em 2006, da *startup Tesla Motors*, que produziria carros elétricos esportivos e luxuosos com autonomia de 200 milhas com apenas uma carga, se tornando a maior indústria automobilística empregadora nesse setor. Essa atitude tomada por uma empresa menor estimulou fabricantes maiores para o desenvolvimento de suas versões elétricas de veículos.

Em 2010, foi lançado o *Chevy Volt*, sendo o primeiro híbrido *plug-in*, e o *Nissan LEAF*, um carro totalmente elétrico movido à bateria, no comércio americano. Foi levantado, também, o questionamento em relação ao carregamento prático dos veículos, devido a isso, o departamento de energia americano investiu cerca de 115 milhões de dólares em infraestrutura de carregamento nacional, que reúne, atualmente, cerca de oito mil locais com vinte mil estações de recarga.

Em relação à realidade brasileira, o crescimento da frota de automóveis está relacionada ao nível do desenvolvimento econômico (BARAN; LEGEY, 2010). Na

época do crescimento econômico da década de 1960 até 2000 nos EUA, Alemanha e Japão, foi observado o mesmo padrão em países como China, Índia, Coreia do Sul e Brasil. Por previsões demográficas para o Brasil (DARGAY *et al.*, 2007), com uma população de 222 milhões de habitantes, em 2030, a frota de automóveis contará com 83,7 milhões de veículos e será a quinta maior do mundo.

Com relação ao crescimento, a utilização excessiva de combustíveis fósseis se torna preocupante para a economia e para o meio ambiente, que é ameaçado devido à poluição. Portanto, segundo Baran (2010), a adoção da tendência de veículos elétricos é imprescindível na substituição de meios convencionais dos meios de transportes, para benefícios econômicos e ambientais a longo prazo.

Além disso, alguns fatores são considerados impulsionadores do crescimento dos veículos elétricos, como: superação de obstáculos tecnológicos, fatores energéticos e a preocupação com a sustentabilidade ambiental (CASTRO; FERREIRA, 2010). Portanto, a possibilidade de ampliar o desempenho energético de baterias foi essencial para aumentar a autonomia do veículo, o que contribuiu para a popularização de veículos elétricos. Uma vez que era fundamental reduzir o peso das baterias e aumentar a energia armazenada, para garantir maior mobilidade.

Uma consideração importante é a densidade de energia, pois os usuários necessitam de baterias que não só carregam mais rápido, mas que percorrem longas distâncias (SIEMENS, 2020). Dessa forma, mais densidade energética, implica em veículos mais baratos com baterias mais leves e maior durabilidade com uma única carga. A vida útil da bateria contribui para a redução das preocupações do consumidor em relação ao custo de uma possível substituição, visto que a bateria representava 57% do custo do veículo elétrico em 2015, 33% em 2020 e com projeção de 20% do custo em 2025.

Nesse sentido, os veículos elétricos são uma opção promissora para contribuir para a diversificação energética e os objetivos de redução das emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2020). Os benefícios dos veículos elétricos incluem emissões zero no sistema de exaustão, melhor eficiência do que os veículos com motor de combustão interna e grande potencial para reduções de emissões de gases de efeito estufa, quando associados a um setor elétrico de baixo carbono. Esses são alguns dos motivos por trás do apoio político de países na implantação

dessa modalidade de transporte, como por exemplo determinados a adoção de metas para a redução em até 100% de veículos com motor movido a combustão.

Os veículos elétricos estão se tornando cada vez mais integrados em várias cidades da Europa e dos EUA, como resultado de medidas legislativas implementadas para reduzir a poluição do tráfego e restringir as emissões de gases de efeito estufa. Algumas das vantagens do uso do veículo elétrico no trânsito são o alto torque do motor e, aceleração e desaceleração mais suave em relação aos veículos com motor de combustão interna (MANZETTI; MARIASU, 2015). Além de não produzir emissões poluentes, os VEs não emitem ruído durante o funcionamento do motor elétrico. Tais aspectos fazem os veículos elétricos ideais para uso em áreas urbanas.

Os interesses na adoção de veículos elétricos nos cenários urbanos são atribuídos a vários fatores relacionados à poluição do ar, que afeta qualidade de vida em muitas partes do mundo, o alto preço do petróleo e tendência crescente do aquecimento global, devido ao rápido aumento das emissões de gases de efeito estufa por todas as fontes, incluindo os meios de transporte (HSU, 2013). Contudo, a sustentabilidade dos veículos elétricos é relacionada à geração de energia, uma vez que os VEs são vistos como sustentáveis já que a eletricidade necessária para movê-los pode ser gerada por energias renováveis limpas.

Segundo Rodrigues (2020), apesar da proposta sustentável na substituição dos tradicionais MCIs, a carga completa de uma bateria de um veículo totalmente elétrico não possui maior autonomia do que um tanque de combustível cheio, além do tempo de carregamento dos VEs ser, no mínimo, 20 minutos a 50 kW em corrente contínua (DC fast) (LEE, 2020).

Entre as desvantagens do veículo elétrico está o custo elevado de produção, o qual se torna um obstáculo para fabricantes dos veículos (MARKUSIC, 2020), já que o gasto com baterias permanece alto, implicando em um preço que excede em até 20% em relação aos modelos convencionais de veículos. Porém, o custo de fabricação não é a única métrica relevante, pois apesar de ser alto inicialmente, os veículos podem ter preços operacionais e de manutenção mais baixos e como resultado, as despesas totais podem ser menores ao longo da vida útil do automóvel.

O acesso a formas de carregamento é, também, um desafio a ser enfrentado, a fim de permitir um acesso mais amplo ao uso dos VEs (BOULANGER *et al.*, 2011). Um desses desafios, é conseguir disponibilizar uma infraestrutura de carregamento para o maior número de usuários potenciais com mínimo custo possível. Para que os VEs tenham os proprietários desses veículos devem ter pelo menos um local confiável para carregá-los. Em alguns casos pode acontecer na própria residência, mas pode ser em estacionamentos ou outro local.

A rede de postos de gasolina oferece flexibilidade para os veículos de motor a combustão interna, os postos são abundantes e as bombas usam bicos de distribuição padrão para diferentes veículos. A infraestrutura de carregamento dos veículos elétricos precisa emular a interoperabilidade do abastecimento de combustível existente. O desafio consiste em entregar a eletricidade a uma grande variedade de veículos, com o custo mínimo e com tempo de carregamento aceitável (BOULANGER *et al.*, 2011).

Uma outra desvantagem é o tempo de recarga ou a necessidade de locais de recarga especiais (MANZETTI; MARIASU, 2015). A localização das estações de carregamento torna-se uma barreira, uma vez que é necessário garantir que estejam prontamente disponíveis, pois a disponibilidade de opções para carregamento implica diretamente na autonomia dos veículos, o qual é um outro fator determinante para o uso.

O carregamento é um fator de extrema importância no funcionamento estável do veículo elétrico, pois os impactos das recargas tornam-se significativos quando não são coordenados (WANG *et al.*, 2016). Nesse cenário, podem ocorrer problemas, como desequilíbrio entre a demanda de carregamento dos veículos e o fornecimento de energia. Com infraestruturas fundamentais mais desenvolvidas, interações inteligentes podem ser realizadas e propor um controle ágil do carregamento dos veículos.

## 2.1 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Ao levar em consideração a implementação de um cenário envolvendo veículos elétricos, faz-se necessário considerar as formas de carregamento, pois a partir dessas características é possível determinar o comportamento e qual a melhor

maneira de otimizar esse sistema como um todo. Sendo destacado o uso de veículos elétricos que necessitam de carregamento através de plugues, já que estes necessitam de uma fonte de alimentação por meio de sistemas de pontos de carregamento.

No início do desenvolvimento dos veículos elétricos, o projeto era principalmente a transformação de veículos movidos a motor de combustão interna para veículos adaptados com motor elétrico e bateria. Desvantagens foram surgindo ao longo dos anos, pois os veículos tornados elétricos eram pesados com pouca flexibilidade de performance da tração elétrica. Porém em VEs modernos, com chassi e estrutura originais, requisitos para melhor performance da propulsão elétrica são atendidos (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Dentre as diferentes arquiteturas para veículos elétricos tem-se: veículos elétricos movidos a bateria e veículos híbridos que geram energia sem ou com necessidade de de *plug* de carregamento.

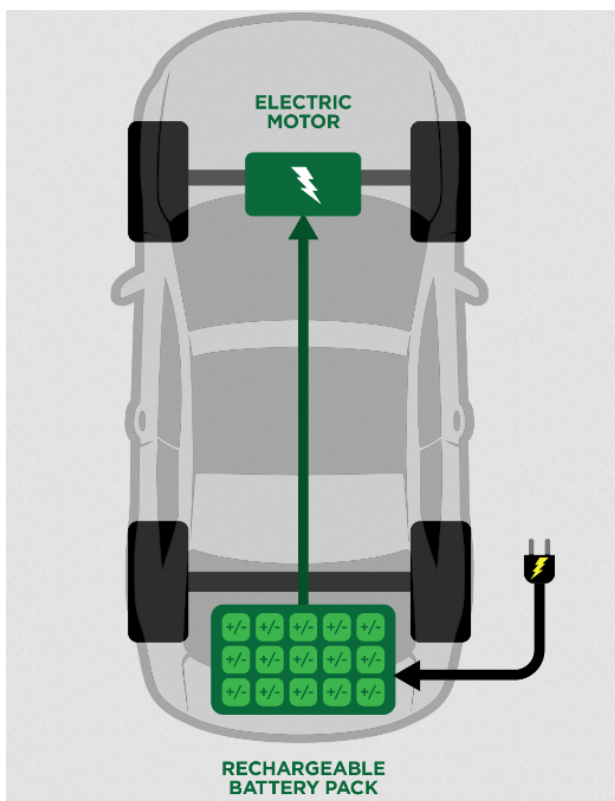
### **2.1.1 Veículos elétricos a bateria (VEB)**

O conceito de um veículo inteiramente elétrico consiste em uma bateria elétrica para o armazenamento de energia, um motor elétrico e um controlador. A bateria é normalmente recarregada com eletricidade da rede elétrica através de um *plug* e carregada a bordo ou instalada no ponto de carga. O controlador irá monitorar a energia fornecida ao motor e a velocidade do veículo, para frente e para trás (Figura 7).

Os VEBs operam apenas com a eletricidade que foi armazenada. Em comparação aos modelos com motor a combustão interna, que fornecem seu torque máximo dentro de uma faixa limitada de motor por minuto, o motor elétrico é capaz de fornecer um torque constante e alto em uma ampla faixa de velocidades. A maioria dos VEBs não precisa de sistemas cada vez mais complexos de gerenciamento do motor, que são adicionados aos motores de combustão interna, como resultado o sistema de transmissão do VE é menos complexo, em comparação aos veículos convencionais (NIEUWENHUIS *et al.*, 2020).



Figura 7 - Veículo elétrico a bateria

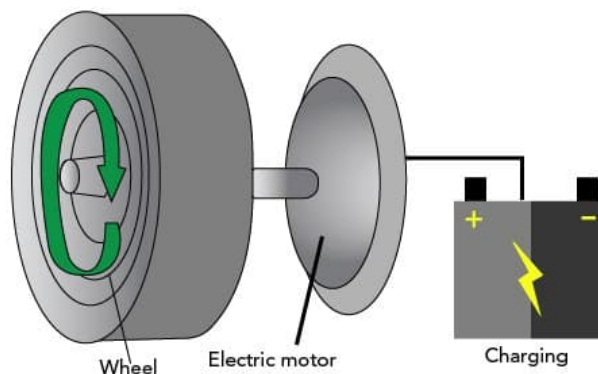


Fonte: Nova Scotia Power (2020, online)

### 2.1.2 Veículo elétrico híbrido (VEH)

Um veículo elétrico híbrido possui duas ou mais fontes de alimentação, o qual garante um número maior de variantes. O VEH conta com a possibilidade que seu sistema recapture energia por meio da frenagem regenerativa. Com o crescimento da hibridização dos veículos, uma alternativa para a fonte de energia foi o uso dos sistemas de frenagem regenerativa, que são projetados para recuperar a energia que seria dissipada durante o evento de frenagem, como demonstra a Figura 8 a seguir (TAWADROS *et al.*, 2014). Esse sistema permite converter a energia cinética em energia elétrica durante o processo de desaceleração. Essa energia convertida pode ser agrupada em dispositivos de armazenamento de energia, como as baterias, para estender a autonomia em até 10% (K.T. CHAU, 2014).

Figura 8 - Frenagem regenerativa

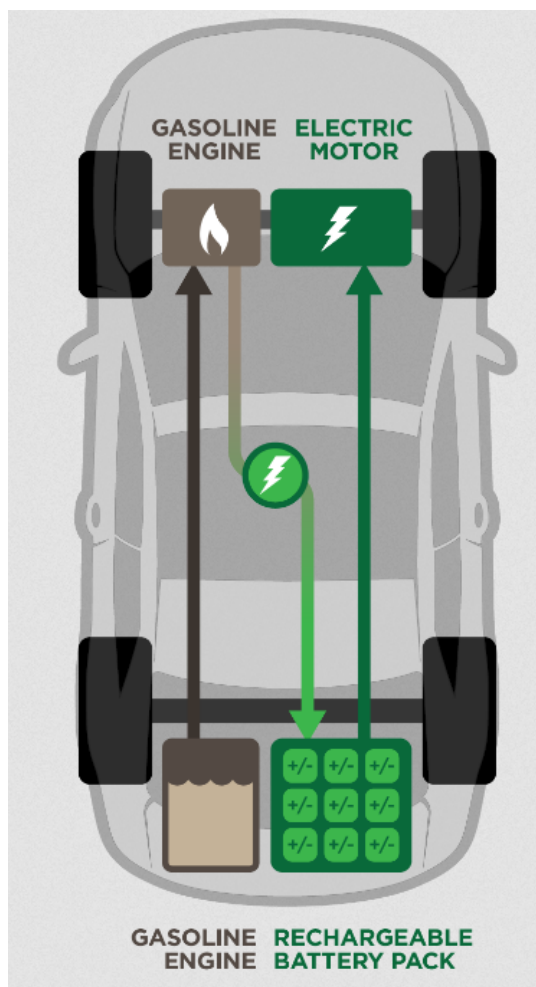


Fonte: Futuretron Labs (2019, online)

O modelo mais comum, entre os híbridos, combina um motor de combustão interna com uma bateria, um motor elétrico e um gerador, conforme a Figura 9 (LARMINIE; LOWRY, 2012). Sendo assim, existem basicamente dois tipos de veículos híbridos, como: híbridos paralelos e híbrido-série, sendo que ambos são projetados para garantir a frenagem regenerativa. No veículo híbrido-série, a tração é gerada apenas pelo motor elétrico, enquanto que o motor a combustão alimenta a bateria, sendo esse movido apenas pelo motor elétrico.

Já no modelo híbrido paralelo, o veículo é conduzido tanto pelo motor de combustão interna, quanto pelo motor elétrico que são conectados por meio de um sistema de transmissão comum que une as duas fontes de alimentação. Os veículos nesta configuração podem ser considerados com maior autonomia devido ao fato de sua estrutura permitir a alternância entre as duas opções de funcionamento, uma vez que combina um motor elétrico e um motor a gasolina. As baterias dos VEHS são carregadas por operações a bordo, não por conexões à rede elétrica.

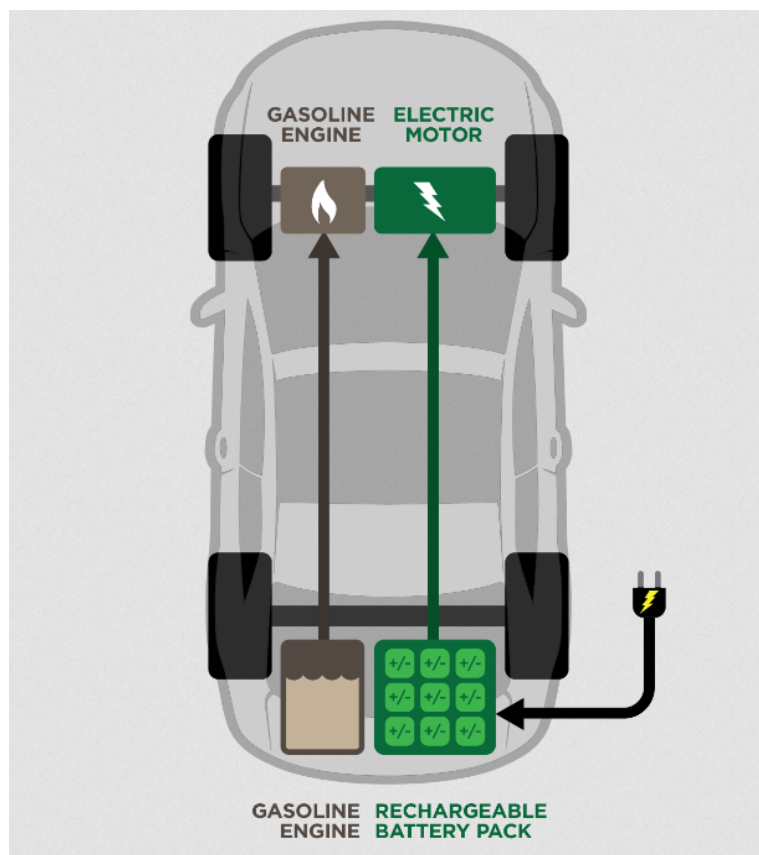
Figura 9 - Veículo elétrico híbrido



Fonte: Nova Scotia Power (2020, online)

### 2.1.3 Veículos Elétricos *Plug-in* (VEP)

Ambos os veículos elétricos a bateria e veículo elétrico híbrido recarregável usam a energia elétrica para acionar os motores elétricos que fornecem a propulsão. VEPs são referidos como um superconjunto de diferentes tipos de VEs com recurso de *plug-in*, incluindo veículos elétricos a bateria (VEB) e veículos elétricos híbridos *plug-in* (VEHPs), a energia é armazenada em baterias que são carregadas pela rede elétrica quando conectadas (Figura 10), ou geradores quando a frenagem regenerativa está habilitada (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Figura 10 - Veículo elétrico *plug-in*

Fonte: Nova Scotia Power (2020, online)

Sendo considerado mais versátil por combinar recursos de um veículo completamente elétrico com as de um veículo híbrido, o VEP aprimora o conceito de híbrido convencional com uma bateria muito maior que, como a de um carro elétrico, deve ser totalmente recarregada por meio de uma fonte de eletricidade externa. A principal diferença entre o VEB e um VEHP é que o segundo, respectivamente, também utiliza combustível fóssil e um motor de combustão interna para estender o alcance da autonomia do veículo (LARMINIE; LOWRY, 2012).

O veículo elétrico híbrido *plug-in* (VEHP) é uma extensão do VEH que utiliza eletricidade e bateria com maior capacidade de energia, permitindo uma distância maior percorrida com energia totalmente elétrica. O VEHP possui os benefícios de um VEB, como maior eficiência e frenagem regenerativa, e também herda características dos veículos convencionais com motor de combustão interna, como uma grande autonomia e reabastecimento rápido (NIEUWENHUIS *et al.*, 2020 ).

## 2.2 PADRÕES DE CARREGAMENTO

Ao redor do mundo se encontram diferentes padrões de carregamento disponíveis para veículos elétricos. Na América do Norte são utilizadas as padronizações da SAE (*Society of Automotive Engineers*) e IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), enquanto são utilizados na Europa os padrões da IEC (*International Electrotechnical Commission*). O Japão utiliza o padrão nacional de carregamento criado pela associação CHAdeMO (*CHArge de MOve*), que padroniza carregamentos em corrente contínua no país, como é visto na Figura 11. A China possui o padrão *Guobiao* para carregamento de corrente alternada e contínua, similar aos padrões IEC, e utiliza padrões da SAC (*Standardization Administration of China*) (DAS, 2019).

Figura 11 - Tipos de conectores mais populares para carregamento DC *fast*

CHAdeMO	CCS (North America)	CCS (Europe)
		
Nissan, Mitsubishi, Kia, Citroën, Peugeot	BMW, Daimler, Ford, Fiat Chrysler, General Motors, Honda, Hyundai, Volkswagen	

Fonte: Hall; Lutsey (2017, online)

A maior diferença entre os diversos padrões ao redor do mundo é o design de portas e conectores do plug de carregamento. Fabricantes possuem planos futuros para tornar o conector de carregamento comum mundialmente para evitar conflitos em estações de carga, como a exemplo da Tesla e seu adaptador de veículos elétricos padrão SAE para as estações “*Tesla supercharging stations*” (Figura 12). Com o mesmo conceito, o “*combo*” é um conector utilizado na Europa que possui

tanto pinos para corrente contínua quanto conexões para corrente alternada (DAS, 2019).

Além de conectores, as padronizações possuem uma função importante na integração dos sistemas de carregamento e sua infraestrutura. Para o sistema funcionar, que inclui a rede elétrica, estações de carregamento, equipamento de carregamento e comunicação com veículos elétricos, é necessário a aplicação de padrões (DAS, 2019). Porém, as fabricantes ainda não adotam padronização de plugues e conexões para os veículos produzidos em geral, prejudicando o carregamento em diferentes estações de recargas.

Figura 12 - Tipos de conectores de carregamento AC

SAE J1772	Type 2 (Mennekes)	Tesla (US)
		
América do Norte e Japão	Europa e China	Veículos Tesla na América do Norte

Fonte: HALL; LUTSEY (2017, online)

### 2.2.1 Categorias de recarga

Os veículos elétricos mais difundidos no mercado são os do tipo *plug-in*, tanto os movidos apenas a bateria quanto os modelos híbridos, que demandam certa quantidade de combustível para movimentar o veículo em conjunto com a energia elétrica. Foram adotados como alternativa aos veículos movidos a motor de combustão interna, pois podem ser recarregados em qualquer lugar com tomadas disponíveis. Quanto aos tipos de recarga, existem três categorias baseadas na potência de carregamento: *Level 1* (L1), *Level 2* (L2), *Level 3* (L3) e *DC Fast*, exemplificado na Tabela 1 (LEE, 2020).

Tabela 1 - Nível 1, Nível 2 e carregamento rápido DC

Charging level	Voltage (V)	Typical power (kW)	Setting
Level 1	120 V AC	1.2-1.8 kW	Principalmente residencial na América do Norte
Level 2	200-240 V AC	3.6-22 kW	Casa, local de trabalho e público
DC fast	400 V DC	50 kW ou mais	Público, principalmente intermunicipal

Fonte: HALL; LUTSEY (2017, online)

*Level 1* provê uma carga através da tomada de 120 Volts em corrente alternada, que acrescenta 2 a 5 milhas de alcance do veículo por hora de carregamento. *Level 2* carrega o veículo a partir de uma tomada de 240 ou 208 Volts em corrente alternada, adicionando 10 a 20 milhas de alcance por hora de carregamento. Por fim, o *Level 3* e *DC Fast* se identificam pelas categorias mais rápidas, tomando apenas 20 minutos para adicionar 50 a 70 milhas de alcance com 200 a 800 Volts de corrente alternada para L3 e corrente contínua para *DC Fast* (LEE, 2020; DAS, *et al.*, 2019).

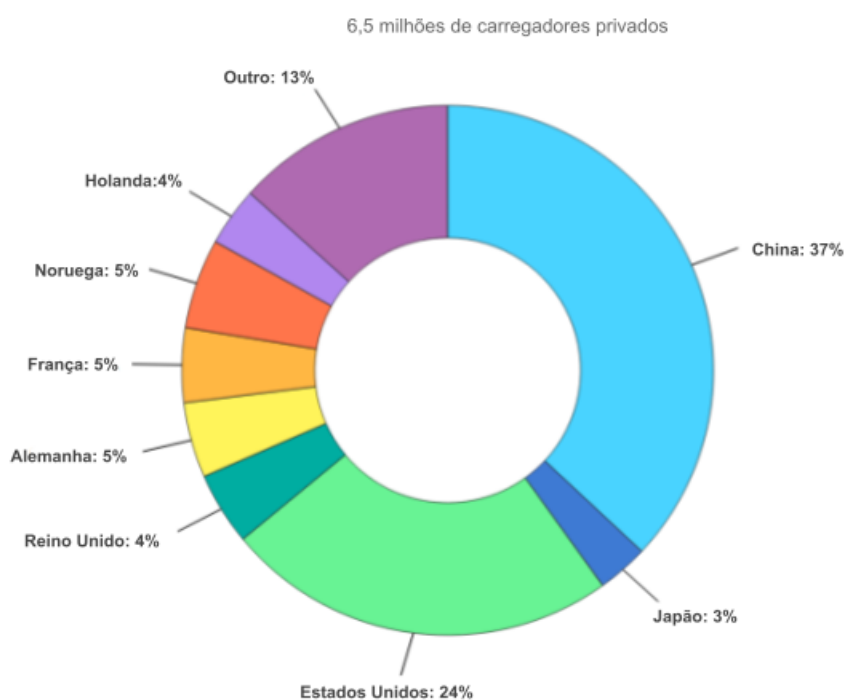
Questionários de pesquisas mostram que usuários de VEPs têm maior probabilidade de recarga ao chegar no trabalho de manhã e ao retornar para casa no fim da tarde. Sendo as tarifas de eletricidade melhores de noite, os usuários são atraídos pelo carregamento em casa para esse horário. L1 e L2 são preferencialmente escolhidos para residências e locais de trabalho, pois são de maior permanência de tempo, L3 e *DC Fast* para viagens de longa distância. Os métodos de carregamento mais rápidos são preferenciais para pontos públicos de carregamento por reduzir a ansiedade por autonomia baixa e encorajam maior adoção de VEs (LEE, 2020).

### 2.3 INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO

Segundo (GNANN, 2018), motoristas interessados em adquirir veículos elétricos pesquisam sobre instalações públicas de recarga para veículos elétricos, e a similaridade entre velocidade de recarga e reabastecimento. Devido a isso, interessados científicos e políticos em pontos de carregamento públicos se preocupam em disponibilizar rápidas opções de recarga, para evitar problemas de congestionamento, tornando o uso de VEs mais dinâmico.

Até o final de 2019, tinha-se instalado no mundo cerca de 7,3 milhões de pontos de recarga de veículos elétricos, sendo que 6,5 milhões representam pontos privados de recarga (Figura 13), lentos ou normais, por atingirem potência menor ou igual a 22 kW. Motivos de conveniência, custo-benefício e políticas de suporte são a razão da prevalência de pontos privados de carregamento para veículos elétricos leves. Cerca de 12% do total de pontos são públicos, com a maioria na China e possui 80% na contagem mundial de pontos de carregamento rápido, conforme as Figuras 14 e 15 (IEA, 2020).

Figura 13 - Gráfico de carregadores *slow* para veículos elétricos privados por país



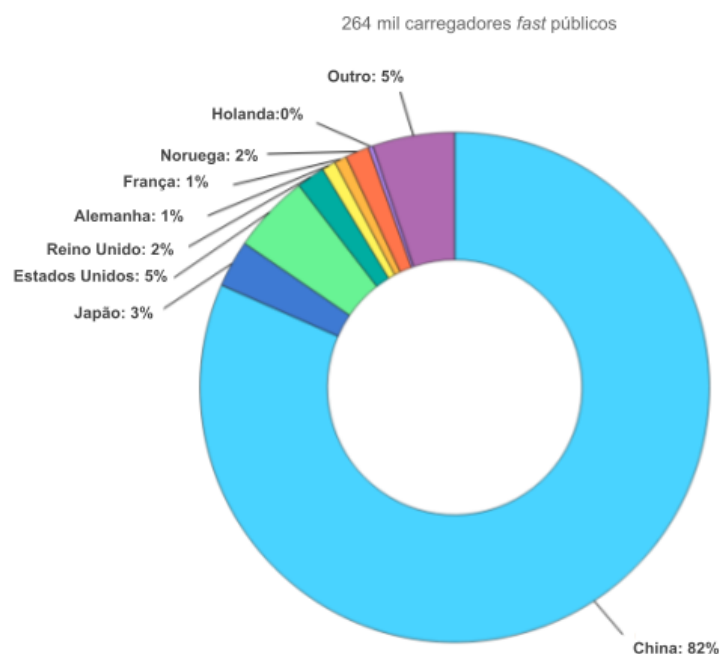
Fonte: IEA (2020, online)

A infraestrutura de carregamento ubíqua se torna um aspecto importante na adoção de veículos elétricos, pois garante a presença de carregamento em qualquer lugar que o motorista necessite. Os pontos principais de carregamento estão presentes no ambiente doméstico, nas áreas de trabalho e em locais movimentados, porém são necessários cerca de 45 mil pontos de carregamento rápido *DC Fast* até 2025 para ampliar a adoção de VEs, considerado o triplo da quantidade de pontos



de carregamento dessa espécie em território norte-americano, por exemplo (LEVY *et al.*, 2020).

Figura 14 - Gráfico de carregadores rápidos para veículos elétricos acessíveis ao público



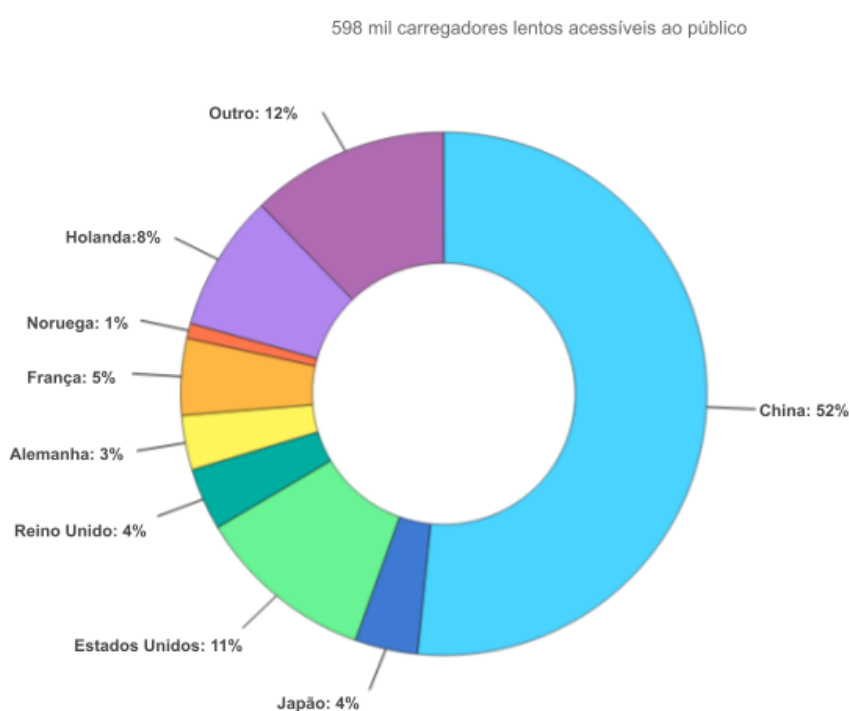
Fonte: IEA (2020, online)

Importante salientar que a rapidez para completar a carga de um VE depende também do desenvolvimento e especificações da bateria aplicada no modelo e da quantidade de carga presente no momento de conexão do carregador, independente da potência disponível na estação de recarga. O tempo exato para o carregamento completo varia entre modelos de veículos, além da maioria dos veículos suportar uma potência menor a 150 kW e muitos limitados entre 50 kW e 100 kW (LEVY *et al.*, 2020), tornando-se importante a análise do veículo elétrico almejado pelo futuro motorista antes do conhecimento sobre infraestrutura de carregamento.

A previsão do número de estações públicas de carregamento rápido necessárias para o futuro se dá em função do número de veículos em operação e do comportamento de direção. Por exemplo, veículos para aplicativos de carona e entregas percorrem distâncias de 3 a 7 vezes maiores por dias para transportar

peças e bens, portanto necessitam de carregamento rápido, confiável e conveniente para o trabalho. Pelo fato de moradias de aluguel ultrapassarem moradias fixas em 97 das 100 maiores cidades estadunidenses, o investimento em estações públicas de carregamento rápido será imprescindível, devido a inquilinos estarem menos dispostos a investir em infraestrutura de carregamento em lugares que não os pertence (NICHOLAS *et al.*, 2019).

Figura 15 - Gráfico de carregadores *slow* para veículos elétricos acessíveis ao público



Fonte: IEA (2020, online)

As barreiras para a implementação de uma rede ideal de veículos elétricos permanecem. Apesar de melhorias voltadas para os modelos que estão entrando no mercado, a infraestrutura de carregamento existente, ainda sofre com fragmentações, dados inconsistentes e falta de padrões na maioria dos mercados. Padrões abertos para comunicação dos pontos de recarga e pagamento podem mitigar alguns desses problemas, ao permitir a interoperabilidade entre as estações de carregamento, e aumentar a inovação e competitividade do mercado reduzindo o custo aos motoristas. Conforme demonstrado na Holanda, os governos podem exigir

a coleta de dados e uso de padrões abertos para projetos com financiamento público para ajudar no desenvolvimento do mercado (HALL; LUTSEY, 2017).

Abordagens multifacetadas e colaborativas se mostram uma opção de sucesso para a ascensão da construção da infraestrutura de carregamento (HALL; LUTSEY, 2017). Governos, em níveis nacionais e locais ao redor do mundo, têm estabelecido estratégias para promover o desenvolvimento de uma infraestrutura pública e privada, e, assim, estabelecer reconhecimento da necessidade de estações de carregamento para um mercado maduro. No entanto, esses planos variam amplamente em escopo e foco, refletindo a incerteza e o ritmo das mudanças neste setor. Para atender às necessidades de mudança neste mercado em crescimento, os governos criam e financiam programas que visam segmentos de mercado, como estações de carregamento junto ao meio-fio, residências com unidades e carregamento rápido intermunicipal.

Ao compartilhar dados sobre as estações e carregamentos, pode-se ajudar o gerenciamento dessas estações de forma que os reparos na infraestrutura ocorram rapidamente. Além disso, essas informações podem fornecer resultados úteis para governos e pesquisadores, pois podem levar, eventualmente, a uma construção e gestão das estações de carregamento mais eficientes. É importante atender às necessidades de carregamento específicas e conhecidas

A falta de informação sobre manutenção e o status operacional pode representar problemas para estações de carregamento, o que leva a um maior tempo de inatividade e frustração para os motoristas (HALL; LUTSEY, 2017). Para estações de carregamento sem recursos de coleta de informações *online* ou sem serviços de acesso aos dados privados, pode ser útil compartilhar informações de status atualizadas com frequência. Entretanto, uma possibilidade de administrar esses problemas é a coleta de dados das estações de carregamento. Estações mais recentes estão conectadas à internet e podem fornecer informações sobre seu status e quaisquer problemas, o que pode ser incorporado aos serviços.

O desenvolvimento de infraestrutura de carregamento para veículos elétricos é necessário para ampliar a habilidade de realizar viagens longas e aumentar a atratividade da alternativa a veículos movidos a combustível, em especial para residências sem garagem e carregadores privados. A criação de redes de infraestrutura de carregamento é considerado o requisito principal da transição para

mobilidade elétrica em larga escala, promovendo o conhecimento e confiança de alcance com uma carga de bateria para motoristas de veículos elétricos em potencial (HALL; LUTSEY, 2017).

Existe uma necessidade de padronização de parte da infraestrutura de veículos elétricos, pois, apesar da padronização de *plugs* de carregamento terem sido amplamente aceitos, a comunicação em *back-end* (processos internos), formas de pagamento e padrões de fonte de energia não foram levadas em consideração. O motivo da falta de organização em tais aspectos da infraestrutura se dá pelo desenvolvimento fragmentado, com iniciativas públicas e privadas aplicando seus próprios modelos, forçando ao motorista possuir uma variedade de contas e cartões de acessos para a infraestrutura disponível. Esse efeito foi aceito devido a maior parte do carregamento ser feito na residência ou de graça, mas se torna preocupante à medida que o mercado da infraestrutura cresce (HALL; LUTSEY, 2017).

### 3 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE

O setor de transportes possui um papel fundamental na sociedade e economia, por ser responsável em transportar bens e pessoas entre lugares, com destaque para meios terrestres como carros e caminhões, os quais têm maior difusão entre pessoas e empresas para variadas distâncias. Nos Estados Unidos, a cultura do carro americano teve início na década de 20, com um crescimento de 8 milhões de veículos para 23 milhões. Apesar de passar por desacelerações na época da grande depressão e da Segunda Guerra Mundial, o número de veículos registrados aproximava-se de 75 milhões, até a época de 1960 (AUER *et al.*, 2016).

Em 1956, houve a aprovação de um ato para ajuda rodoviária, quando foi construída uma rede de estradas interestaduais alcançando cada área metropolitana com população maior que 100 mil habitantes. Com o crescimento de engarrafamentos e acidentes automotivos, padrões de segurança foram estabelecidos por agências governamentais em 1960, com cintos de segurança, painéis macios, para-choques em altura padrão e sistema de frenagem duplo se tornando obrigatórios em 1967 (AUER *et al.*, 2016).

Os transportes terrestres enfrentam problemas que podem ocasionar ameaça para a natureza, pessoas e economia, com o aumento da taxa de acidentes, congestionamento de tráfego, poluição atmosférica e comprometimento da qualidade de vida no ambiente urbano. Com o ato americano para segurança rodoviária, em 1970, conceitos para o uso de tecnologias avançadas no sistema de transporte dos Estados Unidos foram levantados, antecipando um programa nacional de Sistema de Transporte Inteligente (STI). As origens do sistema inteligente estão associadas a iniciativas de pesquisas e implementações públicas, acadêmicas e na indústria, sendo segurança, diminuição no congestionamento e mobilidade melhorada são os motivos do impulso de tornar inteligente o transporte (AUER *et al.*, 2016).

É capaz de estabelecer um sistema de gerenciamento de transporte funcional, em tempo real, preciso e eficiente. Para atingir esses objetivos, o STI utiliza tecnologias avançadas para fornecer aos motoristas informações sobre as estradas e serviços convenientes para reduzir o congestionamento do tráfego e aumentar a capacidade das estradas. O conceito anterior de STI foi proposto nos Estados Unidos no século 20. Atualmente, as bases de pesquisa e desenvolvimento

foram estabelecidas no Japão, União Europeia e Estados Unidos, além disso, Coreia do Sul e Cingapura apresentam alto nível de desenvolvimento do STI (AN; LEE; SHIN, 2011).

Em 1960, foi dado início a pesquisa de tecnologias de navegação e posicionamento, com o sistema de roteamento e informações auxiliadas pelo motorista pela *General Motors* e o sistema experimental de orientação de rotas, porém com requisitos exorbitantes para instalação de infraestrutura nas estradas, levando ao fracasso dos projetos. Na mesma época também foi implementada em estradas americanas as placas de mensagens dinâmicas, informando e avisando os viajantes sobre congestionamentos, acidentes adiante, áreas em construção e limite de velocidade variável. O sistema de GPS também foi iniciado nos anos 60, com função de localizar o dispositivo em qualquer lugar do globo através de redes de satélites, porém com uso militar restrito, apenas nos anos 90 a tecnologia se tornou acessível ao público (AUER *et al.*, 2016).

Nos Estados Unidos, o *Electronic Route Guidance System* (EGRS) foi o estágio inicial do STI nos anos 70. A fim de melhorar a segurança e eficiência do sistema de transporte rodoviário, departamentos federais e estaduais de transporte cooperaram com os fabricantes de veículos para propor a Integração da Infraestrutura Veicular (IIV) com base na avaliação da viabilidade técnica e econômica de uma implantação de um sistema de comunicações. Entre os anos de 2010 e 2014 foi promulgado o Plano Estratégico de Pesquisa STI pelo Departamento de Transporte dos Estados Unidos. O plano é projetado para alcançar uma visão de um sistema nacional de transporte terrestre multimodal que apresenta um ambiente de transporte conectado com outros veículos (AN; LEE; SHIN, 2011).

Em 1980, com mais de 51 mil fatalidades em estradas e crescimento da escassez de gasolina, preocupações quanto à segurança e ao meio ambiente aumentaram o foco para políticas de transporte. O barateamento das tecnologias cada vez mais inteligentes despertou o interesse de agências governamentais para possibilidades de informatizar, sensoriar e adicionar comunicação e tecnologias de controle para melhorar problemas ambientais e de segurança no setor de transporte. A introdução do termo sistema de auto estrada inteligente para veículos surgiu, integrando tecnologias para melhor eficiência e segurança, mesmo com pouca

implementação na década, serviu para iniciar o desenvolvimento e implementação de tecnologias avançadas de STI (AUER *et al.*, 2016).

Contando com o crescimento de fluxos em ruas e estradas, pesquisas analisam a integração de tecnologias virtuais para controle e eficiência do transporte cada vez mais necessário no mundo globalizado. Tal área recém criada opera em diferentes vertentes dos sistemas de transporte como gerenciamento, métodos de controle, infraestrutura, operações e políticas. Os benefícios oriundos da implementação de STI são amplos, abrangendo reduções em riscos e taxas de acidentes, congestionamento e poluição atmosférica, e aumento na segurança, fluidez e velocidade de tráfego para menos estresse para viajantes em várias modalidades (QURESHI; ABDULLAH, 2013).

Avanços nas áreas de tecnologias da informação e de comunicação nas partes físicas do dispositivo (*hardware*) e de programas (*software*) permitiram novas oportunidades de aplicações em comunicações ubíquas em diversos dispositivos eletroeletrônicos existentes, desenvolvendo sistema de transporte inteligente e sustentável, com o volume de dados adquiridos por tais tecnologias recentes. As plataformas de funcionamento das tecnologias aplicadas são importantes para o sucesso dos STIs, por serem responsáveis pelo acesso, coleta e processamento de dados precisos para o ambiente de transporte (GUERRERO-IBÁÑEZ, 2018).

Para plataformas de ferramentas do sistema de transporte inteligente, existem duas categorias de classificação: os intra-veiculares, responsáveis por coletar dados do funcionamento e condições dos veículos, como visto na Figura 16, e o sensoriamento urbano, utilizado para adquirir informações sobre condições do tráfego na área de cobertura do dispositivo de monitoramento. A comunicação de veículos para veículos (*vehicle-to-vehicle*) e de veículos para infraestrutura (*vehicle-to-infrastructure*) utilizam das tecnologias recentes para sensores que possuem grande relevância na aquisição de dados. Após realizada reunião de dados de todas as categorias, o processamento é realizado pelos sistemas de gerenciamento dos transportes para tomadas de decisões e iniciar ações nas ruas e estradas para melhorar o tráfego (GUERRERO-IBÁÑEZ *et al.*, 2018).

Figura 16 - Exemplos de sensores presentes em veículos



Fonte: GUERRERO-IBÁÑEZ *et al.* (2018, online)

O sistema de transporte inteligente (STI) é baseado em demandas crescentes do desenvolvimento do tráfego e opera em diferentes campos do sistema de transporte, como gestão de transporte, controle, infraestrutura, operações, políticas e métodos de controle. O STI pode desempenhar um papel importante na redução de riscos, alta taxa de acidentes, congestionamento de tráfego, emissões de carbono, poluição do ar, além de tornar possível o aumento da segurança e confiabilidades e fluxos de tráfego. Grandes mudanças ocorreram ao longo dos anos, devido a adoção de tecnologias, como hardware, sistema de posicionamento, tecnologias de sensores, telecomunicações e processamento de dados (QURESHI; ABDULLAH, 2013).

Tecnologias de sensoriamento têm conquistado maior ubiquidade na realidade urbana, de grande importância para variados setores da economia e sociedade, sendo implantado no monitoramento das áreas médica, de agricultura, florestal, veicular e da marinha. Na área de transporte, os sensores estão presentes em grande parte do desenvolvimento de aplicações para controle de tráfego, segurança e comodidade. Nos Estados Unidos, a utilização de alguns sensores nos veículos novos é obrigatória para segurança de passageiros, como sensor de pressão dos pneus e sensor de distância para estacionamento, pois garante a segurança para o ambiente do tráfego. A média de sensores veiculares é de 60 a



100, mas para veículos “inteligentes”, o número aumenta para 200 sensores (GUERRERO-IBÁÑEZ, 2018).

A velocidade dos dados no transporte aumentou devido a tecnologias de comunicação aprimoradas, maior capacidade de processamento e velocidade de monitoramento e processamento. Por exemplo, as transações de bilhetagem e pedágio que usam cartões inteligentes ou etiquetas agora são relatadas imediatamente, enquanto que a emissão de bilhetes em papel precisaria de processamento humano para adquirir dados das transações. Os veículos modernos podem relatar a telemetria do sistema interno em tempo real e as informações de todos os membros da tripulação e passageiros (QURESHI; ABDULLAH, 2013).

Em relação a Europa, sistemas cooperativos de transporte inteligente são aplicados em veículos, desde do recebimento da alocação de frequência 5,9 GHz e o início das comunicações V2V (*vehicle-to-vehicle*) e V2I (*vehicle-to-infrastructure*), para melhorar a segurança e eficiência das estradas europeias. Foi implementada a padronização da comunicação do sistema cooperativo de transporte inteligente, para que dispositivos de diferentes fabricantes tenham a capacidade de comunicação. Protocolos de aplicações aplicadas em infraestrutura inteligente, como luzes de trânsito, estão padronizadas pelo comitê europeu de padronização (CEN), utilizando os mesmos protocolos utilizados em veículos para a comunicação efetiva (SJÖBERG *et al.*, 2017).

### 3.1 TECNOLOGIAS

Em 1990, as revoluções tecnológicas estavam em alta. Com a invenção da internet, foi voltada a atenção para desenvolvimento técnico dentro e fora da área de transporte, com novas possibilidades de tornar seguro e eficiente o sistema de transporte através das tecnologias de sensoriamento e da computação. Nos Estados Unidos, o programa do sistema de autoestrada inteligente foi renomeado para programa do sistema de transporte inteligente, para esclarecer o propósito multimodal para além das autoestradas. A atividade do programa de STI foi de padronizar a arquitetura de funcionamento, promovendo a interoperabilidade, que trouxe resultados como o estudo que alegou a necessidade de apenas 300 números de telefone para determinar a condição de estrada da costa leste dos Estados Unidos (AUER *et al.*, 2016).

Atualmente, tecnologias para sistemas de transporte inteligente envolvem sensores, tecnologias de controle, comunicações, informática de computadores e requer estudos das áreas do transporte, engenharia, telecomunicações, ciência da computação, financeira, comércio eletrônico e manufatura de automóveis. As aplicações de STI apresentam sistemas básicos de gerenciamento, como navegação, controle de sinais de tráfego, alertas com mensagens variáveis, identificadores de números de placa ou sistemas de câmera de segurança. E, ainda, aplicações avançadas que integram a aquisição e análise massiva de dados em tempo real de fontes como sistemas de estacionamento e informativos, dados meteorológicos (QI, 2008). A partir do processamento de dados básicos e avançados, é viável a previsão de condições de trânsito e de necessidade de intervenção para a melhora do trânsito.

As novidades em tecnologias irão sustentar a infraestrutura no futuro por coletar, processar e disseminar informações baseadas em condições de tráfego em ordem de minimizar efeitos de congestionamentos. STI têm o desafio de evoluir os sistemas baseados na integração total de uma ampla variedade de tecnologias heterogêneas que podem coletar, processar e tomar decisões com base em informações em tempo real. Comunicações entre veículos e a infraestrutura focam em dar suporte à aplicações em segurança, mobilidade e questões ambientais, utilizando tecnologias emergentes como a comunicação dedicada entre Veículos de Curto Alcance (*DSRC - Dedicated Short-Range Communications*) ou Acesso Sem Fio para Ambientes Veiculares (*WAVE - Wireless Access Vehicular Environments*) (GUERRERO-IBÁÑEZ *et al.*, 2013).

*DSRC* é uma comunicação sem fio de dois caminhos, capaz de transmitir dados críticos em aplicações de segurança ativa, reduzindo significativamente a taxa de acidentes fatais entre veículos através de alertas em tempo real para motoristas na iminência de perigos, como desvios para os limites de pista, frenagem inesperada de veículos a frente, colisões em estreitamentos, curvas acentuadas, trechos escorregadios e indicação de dispositivos de comunicação ou veículos nas proximidades. A Comissão de Comunicações Federais (*FCC - Federal Communications Commission*) alocou 75 MHz de utilização na banda 5,9 GHz, para ser usada na segurança do transporte público (AUER *et al.*, 2016), tornando-se uma das tecnologias mais importantes no cenário de transportes inteligentes.

Pesquisadores interessados em expandir as funções dos STIs necessitam de novos requerimentos para qualidade e confiabilidade de transferência de mensagens por redes sem fio, apresentando novos serviços de controle e segurança para prover mensagens de tráfego e incidentes. (POPOV *et al.*, 2014) apresenta questões de grande importância, em condições de ausência de acesso à redes de internet móveis, que são a construção de unidades multi protocolo para transferência e recepção de mensagens, implementação de algoritmos de rotas dinâmicas, aplicação dos métodos de serviços de STIs, coordenação efetiva via DSRC da infraestrutura de veículos e estradas.

Devido a impossibilidade de prover serviços de STI em nuvem devido a falta de cobertura total de rede de transferência de dados (LTE, Wi-Fi e GSM), a utilização de unidades multi protocolo traz confiabilidade para transferência de dados e é possível avaliar a performance do uso de rede Mesh com mudança dinâmica de estrutura para aplicação em STI (POPOV *et al.*, 2014).

Em conclusão, aplicações em STI utilizam comunicações sem fio, incluindo comunicações entre veículos, com instalações fixas ao longo da estrada com conexões de rede de salto único ou múltiplo. Os veículos mais recentes não são inteiramente isolados de comunicação, devido a avanços em comunicações V2V e V2I, garantindo o acesso a redes Wi-Fi, Bluetooth, 4G e até mesmo o recém 5G (CAO *et al.*, 2018).

### 3.2 COMUNICAÇÃO

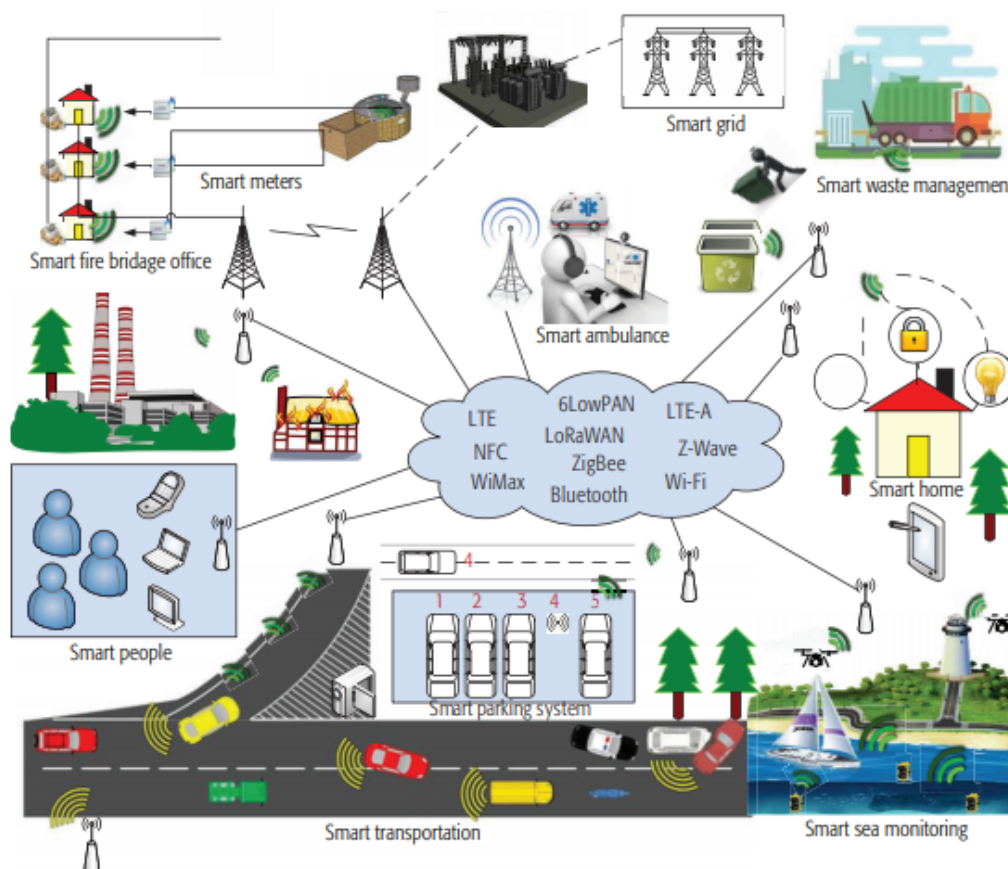
Tecnologias de comunicação são essenciais para o funcionamento do ambiente de cidades inteligentes e dos STIs, por prover a conectividade dentre os elementos que fazem parte do sistema. No ambiente de cidades inteligentes, existem coleções, análises e distribuição de informações para transformar serviços oferecidos para cidadãos, aumentar a eficiência operacional e implicam em melhores decisões no nível municipal, tudo garantido pela forte aplicação de tecnologia ao longo do ambiente (YAQOOB *et al.*, 2017).

A conectividade exerce um papel fundamental para possibilitar acesso interoperável e interconexão entre objetos heterogêneos da cidade inteligente. As infraestruturas de telecomunicações podem prover entrega de serviços eficiente e

informação de alta qualidade através de um grande número de dispositivos digitais, envolvendo diversas tecnologias, como redes de sensores sem fio, comunicação máquina-máquina, comunicação veículo-veículo, virtualização de redes, entre outros (YAQOOB *et al.*, 2017). Com a mesma infraestrutura é possível aplicar a realidade de transportes inteligentes, com o desenvolvimento de aplicações que garantam a fluidez e segurança das vias de veículos.

Para o futuro, surge o desafio de prover conectividade sem falhas devido a coexistência de um enorme número de dispositivos que possuem a capacidade de multi-rádio no ambiente de cidades inteligentes. A necessidade da ausência de falhas na conectividade pode ser vista no cenário de transporte inteligente, pois o atraso na rede devido a conectividade prejudicada pode causar sérios acidentes por não avisar o motorista sobre frenagem necessária. Para evitar complicações com precisões, diversas tecnologias deverão ser utilizadas para evitar o congestionamento de conexões simultâneas em cidades, como 5G, LTE, LTE-A, WiMAX, 3G, *Bluetooth*, *ZigBee*, *Z-Wave* e *LoRaWAN*, para suportar a grande variedade de aplicações em cidades inteligentes, como visto na Figura 17 (YAQOOB *et al.*, 2017).

Figura 17 - Aplicações com tecnologias de comunicação em cidades inteligentes



Fonte: YAQOUB *et al.*, (2017, online)

O LTE-A possui grande importância na realidade de cidades inteligentes, pois tem o objetivo de aumentar a cobertura de banda utilizando tecnologia de *small cells*, por usar menos energia e menor custo em estações, provendo serviço celular superior a empresas. Tal tecnologia pode atender requisitos de comunicação e *networking* para aplicações de cidades inteligentes em termos de interoperabilidade, robustez, consumo de energia limitado e acesso multimodal para melhorar a qualidade de experiência (CIMMINO *et al.*, 2014).

Com a intenção de reduzir o congestionamento de tráfego no ambiente inteligente, a solução baseada em *V2I* é eficiente para evitar esse tipo de problema na região urbana atual. As redes aplicadas em estradas possuem limitações de capacidade e estão prejudicando o gerenciamento de tráfego, problemas que a aplicação de *V2I* e *V2X (Vehicle-to-Everything)* podem ajudar a reduzir o congestionamento. Apesar da proposta ser interessante em ajudar em tais problemas de tráfego, a falta de padrões técnicos para garantir a interoperabilidade

e alguns mecanismos para determinar que determinam se o motorista levou em conta os avisos do tipo *V2I* ou não, são as limitações da solução (DJAHEL *et al.*, 2015).

Uma arquitetura com o uso de Redes Definidas por *Software* (*SDN*) foi proposta para ajudar a prover, por demanda e eficiente, recursos de rede por dispositivos de Área de Rede Sem-Fio Pessoal de Baixo Consumo (*6LowPAN*). O objetivo do projeto é fortalecer aplicações em *IoT* em termos de controle e monitoramento, por ser o futuro das cidades inteligentes. Porém, possui algumas limitações de uso como complexidade da programação e a falta de funcionalidades amigáveis (MAZHAR *et al.*, 2015).

Para utilização de tecnologias emergentes com relação a ambientes inteligentes, as Redes Sem-fio Definidas por Software (*SDWN*), a Virtualização de Funções de Rede (*NFV*), Comunicação por Luz Visível (*VLC*), Redes de Rádio Cognitivo (*CRNs*), Comunicação Verde (*GC*), entre outras, exercem um papel importante em avançar a qualidade e eficiência da conectividade. O alvo das tecnologias do futuro e emergentes é tornar a comunicação com altas taxas de dados, melhorar infraestrutura de redes, atenuar sinais baixos, utilizar com eficiência de espectro, aumentar a escalabilidade, aumentar a cobertura, diminuir custos e tornar robusto a conectividade. Além disso, as tecnologias de 5G provêm inúmeros benefícios, como maior capacidade, *throughput*, acessibilidade global e custo reduzido, podendo ser utilizadas em diferentes aplicações de cidades inteligentes (YAQOOB *et al.*, 2017).

#### 4 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE E VEÍCULOS ELÉTRICOS

Com a necessidade de carregamento dos VEs, surge o problema de escolha de estações de recarga com base no uso pessoal de cada usuário, ou com relação a variáveis em que o motorista possa estar, levando em conta sua jornada e carga restante. Com a integração de escolhas inteligentes com sistemas de transportes avançados, existem algumas soluções para que o problema de carregamento possa ser solucionado, como o emprego de um controlador global, analisando as condições das estações de carregamento e os pedidos de carregamentos por veículos que necessitam de recarga (CAO *et al.*, 2018).

Com o intuito de melhorar a performance de carregamento, a troca de informações entre veículo e estações de carregamento é necessária para implementação de sistemas de tomada de decisão para escolha de melhores pontos de recarga para VEs. Para métodos centralizados de troca de informações, é mais utilizada a rede de comunicação celular, com alcance ubíquo, enquanto para descentralizar a comunicação, facilitando a troca entre veículos e estações, as entidades de redes dos sistemas de transporte inteligentes ao longo da estrada podem ajudar (CAO *et al.*, 2018).

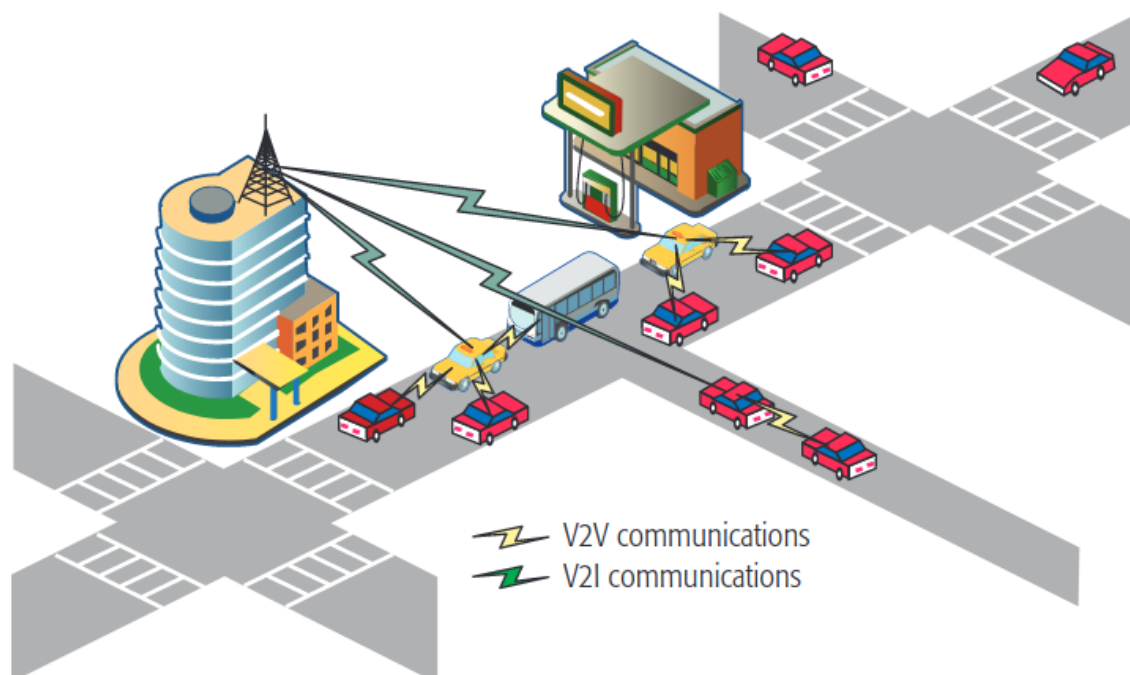
Para se tornar bem sucedido, o compartilhamento de informações dos sistemas de veículos deve ser responsivo e fácil de ser utilizado. Podendo ser empregado para coletar dados do comportamento do usuário e sobre o uso do veículo. Com avanços da tecnologia automotiva, o veículo elétrico híbrido se tornou a principal causa da eletrificação de transporte, devido ao desempenho na economia de combustível. O desenvolvimento de tecnologias para conectividade de veículos torna possível projetar uma estratégia de gestão de energia eficiente com informações do veículo para infraestrutura e veículo para veículo (YANG *et al.*, 2020).

As tecnologias de veículo para veículo (V2V) e veículo para infraestrutura (V2I) fornecem mais informações em tempo real e dados históricos disponíveis para VEHs e VEHPs. Podem oferecer uma oportunidade para melhorar a segurança de direção, mas também a eficiência geral, devido ao rápido desenvolvimento do sistema de transporte inteligente e veículos inteligentes. .

Os VEs estão ocupando uma parte relevante do mercado, ao mesmo tempo que tecnologias de comunicação V2V e V2I estão amadurecendo. Nesse cenário,

diversas concessionárias de energia elétrica estão buscando tornar as redes de energia mais inteligentes, adotando as tecnologias de informação e comunicação. Os futuros sistemas de comunicação serão híbridos, combinando as redes V2V e V2I como mostrado na Figura 18 (CAI *et al.*, 2017).

Figura 18 - Sistemas V2V e V2I



Fonte: CAI, *et al.* (2017, online)

Entre as dificuldades, encontra-se o fluxo de veículos, o qual pode mudar drasticamente ao longo do tempo considerando horários de pico ou localização, e as comunicações sem fio podem sofrer interferências devido a mobilidade ou estacionamentos cobertos e subterrâneos. Segurança em tempo real, planejamento da rota de viagem e outras mensagens relacionadas à localização podem ter fortes restrições de atraso. A escalabilidade e disponibilidade de serviços com requisitos constantes são difíceis de garantir utilizando o sistema celular atual (CAI *et al.*, 2017).

Importante ressaltar que os EVs têm alcance limitado e diferentes opções de carregamento podem variar na velocidade de carregamento, custo de energia e vida útil da bateria do EV. A alta mobilidade dos EVs torna difícil utilizar totalmente suas baterias para serviços de resposta à demanda. Além disso, garantir informações



oportunas, controlar a entrega de mensagens aos serviços de gerenciamento e otimizar a programação de carregamento com base em informações em tempo real são questões ainda em aberto (CAI *et al.*, 2017).

Dado o crescimento de VEs, a alta demanda de energia e capacidade de bateria, a conexão dos veículos trará novas oportunidades para futuros sistemas de transporte verdes e inteligentes. Para explorar essas novas oportunidades, as tecnologias de informação e comunicação desempenham um papel fundamental. Porém, é desafiador desenvolver um sistema avançado de informação, comunicação e controle no contexto de conectividade dos VEs, estações de carregamento e, levando em consideração também, redes de energia (CAI *et al.*, 2017).

Em algumas aplicações do sistema integrado é possível considerar onde e qual estação de carga não recebeu muito fluxo, no intuito de descentralizar o carregamento dos veículos. Estações de recarga públicas geralmente estão distribuídas em áreas que recebem grande demanda de VEs. Assim, é importante analisar o tempo que pode ser relativamente longo para carregar a bateria do veículo. Gerenciar o carregamento de forma otimizada é um recurso importante para torná-lo menos limitado (CAO *et al.*, 2018).

Com relação a modelos propostos de funcionamento de direcionamento de VEs para estações de recargas, se destacam os sistemas centralizados, com o uso de centrais globais de requisição e análise de informações de estações de recarga e VEs, e os descentralizados, que fazem comunicação entre VEs e estações de forma independente. Através do sistema centralizado, a central global possui acesso às condições em tempo real das estações de carregamento em controle, através de comunicação com fio ou sem fio, como redes celulares 3G/4G, provendo interações ubíquas e com atraso reduzido entre VE e central global (CAO *et al.*, 2018).

Apesar de possuir funções úteis, como a organização do carregamento de VEs e estações de carregamento, o sistema centralizado possui problemas no aspecto da privacidade dos usuários, com a preocupação com o atendimento da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais com a aquisição de dados privados dos usuários, aprovada em 2018 no Brasil, em casos de requisição de carregamento às centrais globais, e em caso de falhas nas mesmas. Como alternativa, a seleção de pontos de carregamento pode ser realizada a partir dos próprios VEs, formando o sistema distribuído de carregamento. Com a ajuda de dispositivos dos STIs ao longo

da estrada, é garantida a conectividade dos veículos com a infraestrutura com a disseminação adequada das informações relacionadas à operação de carregamento (CAO *et al.*, 2018).

Com relação a sistemas mais avançados e inteligentes na aplicação de transportes inteligentes, a comunicação entre veículos (V2V) é uma abordagem mais flexível e eficiente para o sistema distribuído do que o veículo apenas com a infraestrutura, por não ser custoso em implementação e não precisar de realocação das unidades, suportando a disseminação necessária de dados entre veículos conectados quando há o encontro entre eles (CAO *et al.*, 2018).

## 5 CENÁRIO ATUAL

Levando em consideração a pesquisa realizada a respeito dos veículos elétricos, dos sistemas de transporte inteligentes, e da integração das tecnologias recentes para ajudar no carregamento em ambientes inteligentes, é possível afirmar a necessidade de aplicação na realidade de cenários que necessitem da substituição de matrizes energéticas prejudiciais para o meio ambiente e, tornem atrativo a adesão de motoristas em veículos movidos a energia como forma rentável de transporte para o dia-a-dia.

Em algumas capitais do mundo, existem maiores inserções de veículos elétricos para tornar o transporte ecologicamente correto e melhor aproveitamento da energia gerada nas capitais. O desafio reside em tornar a utilização inteligente quanto ao carregamento organizado e eficiente, evitando transtornos com os recém estabelecidos motores elétricos. Para regiões que estão pouco desenvolvidas e possuem o uso de combustíveis fósseis como formas principais de abastecimento do transporte, é necessário maiores programas para disseminação dos benefícios de veículos elétricos ou híbridos e, ainda, aplicar uma construção de infraestrutura condizentes com o sistema inteligente.

### 5.1 CENÁRIO MUNDIAL

Como foi abordado anteriormente, existe grande disseminação de veículos elétricos em regiões mais desenvolvidas economicamente, como China, América do Norte e Europa. Devido a pesquisa na área ou necessidade de meios alternativos de transporte, nessas regiões foi desenvolvida a cultura de veículos movidos a eletricidade e que experienciam o aumento da frota a cada ano. Porém, é necessário a inserção de maneiras para organizar a estrutura de recarga, tornando o carregamento eficiente com base em horários de maior demanda e melhor posicionamento de estações de recarga público, possibilitando viagens longas com os veículos.

A inserção de STIs na realidade mundial é necessária para o carregamento de veículos elétricos eficientes e para a melhora do cotidiano de veículos em geral de grandes centros urbanos. Foi visto que a América do Norte possui programas e

políticas que tornaram as ruas e estradas dos países com maior organização e segurança, para cidadãos e empresas que necessitam transitar pelas vias. Os benefícios que a implementação traz para o transporte dos centros urbanos são enormes para a produtividade geral e torna real o cenário de ambientes inteligentes do futuro.

## 5.2 CENÁRIO NACIONAL

Como mostrado por (SLOWIK *et al.*, 2018), o mercado de veículos elétricos na realidade brasileira é quase inexistente, com menos que 200 novos veículos elétricos entre 2010 e 2017, mostrando demasiado atraso no avanço da inserção de tais tecnologias no país. A cultura de veículos movidos a gasolina no país está em pleno exercício e não apresenta mudanças aparentes da tendência, devido ao estabelecimento do consumo de combustível.

Um grande desafio para a eletrificação de veículos no Brasil é ir além de algumas soluções mitigadoras a respeito da emissão de gases poluentes. Atualmente, a adoção de biocombustíveis tem sido uma solução para a menor utilização de combustíveis fósseis, devido à forte agricultura do país, porém sem grandes melhorias quanto a qualidade do ar e menor emissão de gases do efeito estufa, levando em conta o crescimento da frota de veículos. Um passo a tomar para a mudança é a eletrificação do transporte público urbano, por dar início a investimentos na mobilidade elétrica da área urbana (SLOWIK *et al.*, 2018).

A necessidade de implantação de programas para tornar o transporte brasileiro elétrico e inteligente é importante para o desenvolvimento do país como potência mundial, devido às riquezas que a região brasileira possui. O uso de transportes inteligentes evita ondas de perigo nas estradas que ameaçam a vida da sociedade e impedem o crescimento de centros urbanos, além de grandes congestionamentos.

A eletrificação do transporte público é uma prioridade a curto e médio prazo, já que agregaria os benefícios dessa mudança. Além das questões de clima e qualidade do ar, a mobilidade urbana acompanha problemas cada vez mais complexos relacionados ao crescimento das cidades. As experiências internacionais de estímulo à eletromobilidade indicam uma quantidade ampla de alternativas a

serem consideradas no contexto brasileiro. Essas experiências podem servir de inspiração para ações a serem tomadas. Dessa forma, as etapas futuras surgirão de esforços coordenados, e os mecanismos de monitoramento e avaliação dos resultados podem exigir ajustes no que for adotado como processo evolutivo das políticas públicas.

## 6 CONCLUSÃO

Ao compreender o crescimento dos veículos elétricos, foi possível analisar a mudança na mobilidade urbana. Grandes centros urbanos já passam por mudanças no transporte e repensam essa estrutura a partir de tecnologias que auxiliem um crescimento mais sustentável e, dessa forma, um maior incentivo aos VEs colabora para um cenário com menor impacto ecológico. A ampliação da adoção de VEs, tanto para um mercado privado, quanto para uso público, é imprescindível na utilização de energia alternativa para mudar a tendência da poluição.

Entretanto, é necessário pensar a forma de implantar tal infraestrutura, o trabalho conclui que a distribuição e escolha inteligente de estações de recarga são pilares importantes para a implantação eficiente dos veículos elétricos. A autonomia do VE é um fator limitante para um uso prolongado, contudo, se devidamente carregado é possível torná-lo eficiente durante jornadas diárias. Para isso, a infraestrutura de carregamento deve atender a demanda crescente por conta da urbanização.

Foi constatado que o STI é um passo essencial para garantir a coleta e processamento de informações de veículos e do meio para realizar alertas e levantamentos a respeito de possíveis mudanças na infraestrutura de vias. A pesquisa complementa a necessidade de integrar essas informações aos usuários de veículos elétricos e aos veículos a combustão, de forma que venha otimizar o processo de carregamento, evitando gargalos que possam acontecer devido ao crescimento da frota, e garantindo a segurança e confiabilidade das vias em geral.

Apesar dos ajustes necessários para que os VEs se consolidem como primeira opção dos usuários ao pensar em adquirir um veículo, o crescimento da adoção da tecnologia na sociedade atualmente é sensível e inerente. Ambos os transportes elétricos e sistemas inteligentes são importantes para a ampliação da tendência de tecnologias avançadas para a atualidade e assegurar a eficiência do crescimento geral da economia e sociedade.

## 6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Em relação a dificuldades no processo de pesquisa e construção da monografia, foi sensível a escassez de estudos relacionados a sistemas de transporte inteligente e a respeito da integração com veículos elétricos.

Foi visto a falta de trabalhos que relatem o processo de implementação das tecnologias propostas em ambientes, para facilitar a pesquisa a respeito dos requisitos para implantação do projeto proposto. Para o desenvolvimento do projeto na realidade nacional, faltam dados que relacionem o interesse e necessidade em centros urbanos brasileiros, mostrando a possibilidade de receber as tecnologias na infraestrutura de energia das capitais e os níveis de aceitação pela sociedade quanto às novidades tecnológicas.

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

A utilização de veículos elétricos e sistemas de transporte inteligente possuem a capacidade de reformar o transporte, permitindo o melhor movimento da economia e sociedade. Para pesquisas futuras, o uso de conceitos explorados pelo trabalho será um passo para a discussão da implementação nacional. Trabalhos futuros também incluem discutir e preencher lacunas nas limitações da estrutura de conectividade, com os modelos que implementem tecnologias emergentes que possuem maiores capacidades de dispositivos e menores chances de interferência com outras tecnologias para veículos

É necessário estudos aprofundados a respeito da padronização de plugues de carregamento para veículos e infraestrutura, com destaque para vantagens econômicas com a utilização do mesmo padrão para montadoras, sendo atualizadas para facilitar a recarga por motoristas em qualquer estação. A discussão a respeito de tais tópicos é importante para que a grande troca de informações entre veículos não seja prejudicada e a compatibilidade com infraestruturas em geral seja garantida.

## REFERÊNCIAS

- AEAARP. A história e a genialidade do automóvel, 2005. Disponível em: <<https://www.aeaarp.org.br/upload/revista/20170711150449painel-250.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- AN, Sheng-hai *et al.* A Survey of Intelligent Transportation Systems. **Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks**, Indonesia, p. 332-337, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6005695>. Acesso em: 7 maio 2021.
- AUER, Ashley *et al.* HISTORY OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS. **INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS JOINT PROGRAM OFFICE**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/30826>. Acesso em: 2 mai. 2021.
- BARAN, Renato.; LEGEY, Luiz. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. **BNDES SETORIAL**, Rio de Janeiro, p. 207-224, nov. 2010. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf)>. Acesso em: 3 mai. 2020.
- BAUTISTA, Pablo *et al.* A traffic-aware electric vehicle charging management system for smart cities. **Vehicular Communications**, [s. l.], v. 20, p. 596-607, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214209619302359>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- BOULANGER, Albert *et al.* Vehicle Electrification: Status and Issues. **Proceedings of the IEEE**, [s. l.], v. 99, n. 6, p. 1116 - 1138, mai. 2011. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5768097>>. Acesso em: 1 jun. 2021.
- BRAUN, Silvana; APPEL, Lucia; SCHMAL, Martin. A Poluição Gerada Por Máquinas De Combustão Interna Movidas À Diesel - A Questão Dos Particulados. Estratégias Atuais Para A Redução E Controle Das Emissões E Tendências Futuras. **Química Nova**, [S.l.], v. 27, n. 3, p. 472-482, set. 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/vG7RHJHrHTTcRnSCmHqvYCj/?lang=pt>>. Acesso em: 23 abr. 2021.
- CAI, Lin, *et al.* Networked Electric Vehicles for Green Intelligent Transportation. **IEEE Communications Standards Magazine**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 77-83, jul. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7992935>>. Acesso em: 2 abr. 2021.



CAO, Yue, *et al.* Intelligent Transportation Systems Enabled ICT Framework for Electric Vehicle Charging in Smart City. **Handbook of Smart Cities**, Suíça, n. 1, 2018, Handbook of Smart Cities. Springer, p. 311-330, nov. 2019. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97271-8\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97271-8_12)>. Acesso em: 2 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. An EV Charging Management System Concerning Drivers' Trip Duration and Mobility Uncertainty. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, [s. l.], v. 48, p. 596-607, 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-EV-Charging-Management-System-Concerning-Trip-Cao-Wang/3043ff1d2cfe6e874b687b9cf05e1bae1762ff7d>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CASTRO, Bernardo; FERREIRA, Tiago. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. **BNDES SETORIAL**: Rio de Janeiro, p. 267-310, set. 2010. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CHAU, K; LI, Wenlong. Overview of electric machines for electric and hybrid vehicles. **International Journal of Vehicle Design**, [s. l.], v. 64, ed. 1, 2014. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Overview-of-electric-machines-for-electric-and-Chau-Li/d3f28505ef3a6931901b8666a2d833b82ab2a6c6>. Acesso em: 12 maio 2021.

CIMMINO, Antonio *et al.* The role of small cell technology in future Smart City applications. **Transactions on Emerging Telecommunications Technologies**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 112 - 120, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ett.2766>. Acesso em: 9 jun. 2021.

CUI, Hongyang. Subsidy fraud leads to reforms for China's EV market. **ICCT**, 2017. Disponível em: <<https://theicct.org/blogs/staff/subsidy-fraud-reforms-china-ev-market>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

CURADO, Adriano. Meios de transporte: como eles revolucionaram a história humana. **Conhecimento Científico**, 2020. Disponível em: <<https://conhecimentocientifico.r7.com/meios-de-transporte-como-eles-revolucionaram-a-historia-humana/>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

DARGAY, Joyce; DERMONT, Gately; SOMMER, Martin. Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030. **The Energy Journal**, v. 28, p. 143-170, out. 2007. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/46523642\\_Vehicle\\_Ownership\\_and\\_Income\\_Growth\\_Worldwide\\_1960-2030](https://www.researchgate.net/publication/46523642_Vehicle_Ownership_and_Income_Growth_Worldwide_1960-2030)>. Acesso em: 14 abr. 2021.

DAS, Himadry *et al.* Electric Vehicles Standards, Charging Infrastructure, and Impact on Grid Integration: A Technological Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

DJAHHEL, Soufiene *et al.* Toward V2I communication technology-based solution for reducing road traffic congestion in smart cities. **International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)**, [s. l.], p. 1-6, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7238584>. Acesso em: 11 jun. 2021.

EGNÉR, Filippa; TROSVIK, Lina. Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments. **Energy Policy**, [S.l.], v. 121, p. 584-596, out. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518304282>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

FINOGEEV, A. *et al.* Intelligent monitoring system for smart road environment. **Journal of Industrial Information Integration**, local[S.l.], v. 15, p. 15-20, set. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X18300542>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

FOUNOUN, Adne; HAYAR, Aawatif. Smart City concept's energy awareness assessment through sustainable development standards. *In: 2018 Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)*, n. 1, 2018. Acesso em: 16 fev. 2021.

GNANN, Till *et al.* Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 62, p. 314-329, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917305643>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

GUERRERO-IBÁÑEZ, Juan; ZEADALLY, Sherali; CONTRERAS-CASTILLO, Juan. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems. **Sensors**, [s. l.], v. 18, 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/18/4/1212>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

HALL, Dale; LUTSEY, Nic. EMERGING BEST PRACTICES FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE. **The international council on clean transportation**, Washington, p. 1-54, 2017. Disponível em:

<<https://theicct.org/publications/emerging-best-practices-electric-vehicle-charging-infrastructure>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

HØYER, Karl. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities Policy**, v. 16, p. 63-71, jun. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178707000768>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

IEA. **Global EV Outlook 2020**, 2020, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

JAVED, Muhammad, *et al.* Adaptive Security for Intelligent Transport System Applications. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 110-120, abr. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8344767>>. Acesso em: 1 abr. 2021.

KON, Fabio; SANTANA, Eduardo. Cidades Inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios. Jornadas de Atualização em Informática (JAI), 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/313793896\\_Cidades\\_Inteligentes\\_Conceitos\\_plataformas\\_e\\_desafios](https://www.researchgate.net/publication/313793896_Cidades_Inteligentes_Conceitos_plataformas_e_desafios)>. Acesso em: 5 mar. 2021.

LARMINIE, James; LOWRY, John. **ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED**. 2. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2012. 340 p. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Electric+Vehicle+Technology+Explained%2C+2nd+Edition-p-9781119942733>. Acesso em: 13 mai. 2021.

LEE, J. H. *et al.* Exploring electric vehicle charging patterns: Mixed usage of charging infrastructure. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.l.], v. 79, jan. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192091831099X?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 abr. 2021.

LEVY, Jonathan; RIU, Isabelle; ZOI, Cathy. THE COSTS OF EV FAST CHARGING INFRASTRUCTURE AND ECONOMIC BENEFITS TO RAPID SCALE-UP. **EVgo**, [s.l.], 2020. Disponível em: <[https://a.storyblok.com/f/78437/x/f28386ed92/2020-05-18\\_evgo-whitepaper\\_dcf-cost-and-policy.pdf](https://a.storyblok.com/f/78437/x/f28386ed92/2020-05-18_evgo-whitepaper_dcf-cost-and-policy.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2021.

LOKHANDWALA, Mustafa; CAI, Hui. Siting charging stations for electric vehicle adoption in shared autonomous fleets. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.l.], v. 80, mar. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192091930416X>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

MANZETTI, Sergio; MARIASIU, Florin. Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 51, p.1004-1012, 2015. Acesso em: 10 mai. 2021.

MARKUSIC, Todd. What Will it Take to Put Consumers in the Driver's Seat of Battery Electric Vehicles?. **Ipsos**, 2020. Disponível em: <<https://www.ipsos.com/en-us/news-polls/Battery-Electric-Vehicles>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

MARTINS, S. S. S. *et al.* Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. **HOLOS**, Rio Grande do Norte, v. 6, p. 54-76, nov. 2015. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481547289005>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

MATULKA, Rebecca. The History of the Electric Car. **Energy.gov**, 2014. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 2 mar. 2021.

MAZHAR , Muhammad *et al.* Conceptualization of Software Defined Network layers over internet of things for future smart cities applications. **IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)**, [s. l.], p. 1-4, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7393104>>. Acesso em: 6 jun. 2021.

MO, Wangyi *et al.* Optimal Charging Navigation Strategy Design for Rapid Charging Electric Vehicles. **Energies**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 596-607, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/962>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MUKHERJEE, Joy; SHUKLA, Saurabh; GUPTA, Arobinda. Mobility aware scheduling for imbalance reduction through charging coordination of electric vehicles in smart grid. **Pervasive and Mobile Computing**, [S.l.], v. 21, p. 104-118, ago. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S157411921400193X>>. Acesso em: 8 mar. 2021.

NICHOLAS, Michael; HALL, Dale; LUTSEY, Nic. QUANTIFYING THE ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE GAP ACROSS U.S. MARKETS. **The international council on clean transportation**, Washington, p. 1-39, 2018. Disponível em: <<https://theicct.org/publications/emerging-best-practices-electric-vehicle-charging-infrastucture>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

NIEUWENHUIS, Paul *et al.* The Electric Vehicle Revolution. **Future Energy**, [s. l.], v. 3, p. 227-243, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081028865000116>>. Acesso em: 30 abr. 2021

POPOV, Serge *et al.* Hardware and Software Equipment for Modeling of Telematics Components in Intelligent Transportation Systems. *In: INTERNATIONAL Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking*. [S. l.], 2014. v. 8638. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2\\_55](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10353-2_55)>. Acesso em: 3 jun. 2021.

QI, Luo. Research on Intelligent Transportation System Technologies and Applications. **Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System**, Guangzhou, p. 529-531, 2008. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4634911>>. Acesso em: 28 maio 2021.

QU, Fengzhong; WANG, Fei-Yue; YANG, Liuqing. Intelligent transportation spaces: vehicles, traffic, communications, and beyond. **IEEE Communications Magazine**, [S.l.], v. 48, n.11, p. 136-142, nov. 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5621980>>. Acesso em: 19 mai. 2021.

QURESHI, Kashif; ABDULLAH, Hanan. A Survey on Intelligent Transportation Systems. **Middle East journal of scientific research**, Paquistão, v. 15, p. x-x, Jan. 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257367335\\_A\\_Survey\\_on\\_Intelligent\\_Transportation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/257367335_A_Survey_on_Intelligent_Transportation_Systems)>. Acesso em: 17 mai. 2021.

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. CO2 emissions. **Our world in data**. [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-emissions>>. Acesso em: 29 mai. 2021.

RODRIGUES, Renan. Elétrico x combustão: as vantagens de cada carro. **Webmotors**, 2020. Disponível em: <<https://www.webmotors.com.br/wm1/comparativos/eletrico-x-combustao-as-vantagens-de-cada-um>>. Acesso em: 3 mai. 2021.

SANTOS, Thainá. Emissões de poluentes por veículos automotores. **Educação Pública**, 2016. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/16/7/emissões-de-poluentes-por-veiculos-automotores>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

SEETHAMMA, Megha. Types of EVs. *In: Futuretron Labs*. [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://futuretronlabs.in/blog/index.php/2019/08/26/types-of-ev-electric-vehicle-phev-hev-bev/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SLOWIK, Peter *et al.* International Evaluation of Public Policies for electromobility in Urban Fleets. The International Council On Clean Transportation, 2019. Disponível em:

<theicct.org/publications/international-evaluation-public-policies-electromobility-urban-fleets>. Acesso em: 4 jun. 2021

SIEMENS. **The evolution of the electric vehicle market**, 2020. Disponível em: <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:0109b0ae-c47b-4175-a331-3a3daeb64a1c/sids-m40030-00-4aus-lo-res.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SJÖBERG, Katrin *et al.* Cooperative Intelligent Transport Systems in Europe: Current Deployment Status and Outlook. **IEEE Vehicular Technology Magazine**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 89 - 97, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7911287>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

Smart City Solutions. **ACETECH**. [S. l.]. Disponível em: <<https://acetechnia.net/systems-integration/smartcity-infrastructure/>>. Acesso em: 6 jun. 2021.

STRUBEN, Jeroen; STERMAN, John. Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 35, p. 1070-1097, fev. 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/23541706\\_Transition\\_Challenges\\_for\\_Alternative\\_Fuel\\_Vehicle\\_and\\_Transportation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/23541706_Transition_Challenges_for_Alternative_Fuel_Vehicle_and_Transportation_Systems)>. Acesso em: 5 abr. 2021.

TAWADROS, Peter; ZHANG, Nong. Integration and performance of regenerative braking and energy recovery technologies in vehicles. *In*: FOLKSON, Richard. **Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation**. 1. ed. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2014. cap. 17, p. 541-563. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857095220500170>>. Acesso em: 12 maio 2021.

Types of Electric Vehicles. **Nova Scotia Power**. [S. l.]. Disponível em: <<https://www.nspower.ca/your-home/energy-products/electric-vehicles/types>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

WANG, Qinglong, *et al.* Smart Charging for Electric Vehicles: A Survey From the Algorithmic Perspective. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**. v. 18, n. 2, p. 1500-1517, 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7383228/references#references>>. Acesso em: 12 abr. 2021

YANG, Chao *et al.* Efficient Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles/Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Review and Recent Advances under Intelligent Transportation System. **IET Intelligent Transport Systems**, [s. l.], v. 14, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/340057605\\_Efficient\\_Energy\\_Management\\_Strategy\\_for\\_Hybrid\\_Electric\\_VehiclesPlug-in\\_Hybrid\\_Electric\\_Vehicles\\_Review\\_a](https://www.researchgate.net/publication/340057605_Efficient_Energy_Management_Strategy_for_Hybrid_Electric_VehiclesPlug-in_Hybrid_Electric_Vehicles_Review_a)>

nd\_Recent\_Advances\_under\_Intelligent\_Transportation\_System>. Acesso em: 1 jun. 2021.

YAQOOB, Ibrar *et al.* Enabling Communication Technologies for Smart Cities. **IEEE Communications Magazine**, [s. l.], v. 55, n. 1, p. 112 - 120, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7823347>>. Acesso em: 7 jun. 2021.

ZHANG, Junping, *et al.* Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 1624-1639, jul. 2011. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5959985>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

ZHU, Li, *et al.* Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A Survey. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 383-399, jan. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8344848>>. Acesso em: 28 mai. 2021.