

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
TECNOLOGIA EM MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

GUSTAVO BENTO

***eHighway*: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
ESTRADAS ELETRIFICADAS EM UMA RODOVIA BRASILEIRA**

SANTO ANDRÉ

2022

GUSTAVO BENTO

***eHighway*: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
ESTRADAS ELETRIFICADAS EM UMA RODOVIA BRASILEIRA**

Monografia apresentado à FATEC de Santo André
como requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Mecânica Automotiva, sob
orientação do Professor Dr. Roberto Bortolussi.

SANTO ANDRÉ

2022

B478e

Bento, Gustavo

eHighway: estudo da aplicação da tecnologia de estradas eletrificadas em uma rodovia brasileira / Gustavo Bento. - Santo André, 2022. – 51f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Bortolussi

1. Mecânica. 2. Veículo de carga híbrido. 3. Estudo. 4. Tecnologia. 5. Sistema de propulsão elétrico. 6. Mobilidade. 7. *eHighway*. 8. Frota. I. *eHighway*: estudo da aplicação da tecnologia de estradas eletrificadas em uma rodovia brasileira.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

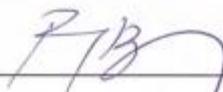
Santo André, 14 de dezembro de 2022.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: **eHighway:
ESTUDO DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE ESTRADAS
ELETRIFICADAS EM UMA RODOVIA BRASILEIRA** DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROFº ROBERTO BORTOLUSSI



MEMBROS:

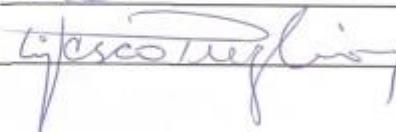
PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO



PROF. CLEBER WILLIAN GOMES



PROF. LUIZ VASCO PUGLIA



ALUNO:

GUSTAVO BENTO



Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram durante o processo criativo dele. A aqueles me apoiaram, e me ajudaram a não desistir. E a todos aqueles que irão lê-lo, e com ele, ganhar experiência para torná-lo ainda melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por guiar meus caminhos e me dar forças para enfrentar os desafios que se fazem presentes. Agradeço também a meus familiares e amigos que me apoiaram durante todo o processo. A minha noiva também por me apoiar, acudir e também por me ajudar a manter minha saúde mental durante momentos difíceis.

Agradeço à Fatec Santo André por todo apoio e experiência fornecidos a mim, através dos professores e de todo o corpo institucional da faculdade, que esteve sempre à disposição para me auxiliar, tornando-se para mim um ambiente confortável, como uma extensão de minha casa. Um agradecimento especial ao Técnico da Biblioteca, da Etec Júlio de Mesquita, Reginaldo Gabriel, que me auxiliou durante a busca de livros e artigos sobre o tema.

Um agradecimento também, ao Técnico Eletrônico, Osmar Lima de Oliveira Junior, da Next Mobilidade. Que doou tempo e atenção, para atender minhas dúvidas sobre os sistemas trólebus, que integram esse trabalho.

Agradeço ao meu professor Orientador Roberto Bortolussi por junto a mim, embarcar na proposta desse projeto, e pelo empenho em fazê-lo acontecer, assim como também por toda a carga de conhecimento e experiência trazidos para o trabalho. Agradeço também ao professor Fernando Garup, pelo apoio e orientação durante as aulas, apontando os pontos a serem melhorados e revisados.

“Não se mede a grandeza de um homem pelo seu tamanho físico, mas pelos seus atos, pelo impacto que tem na história da humanidade.”

SOICHIRO HONDA.

RESUMO

O presente trabalho contempla o estudo da tecnologia eHighway, que atualmente está em testes em alguns países da Europa, como exemplo, Suécia, Alemanha e em uma cidade dos Estados Unidos da América. A tecnologia consiste no uso de um veículo de carga híbrido, que usando de um pantógrafo ativo ligado a uma rede elétrica, utiliza-se dessa fonte de energia para alimentar seu sistema de propulsão elétrico, e percorrer essa eletro rodovia. Durante o trajeto o veículo usa de uma fonte de propulsão não poluente, e tem como base de projeto o estudo em cima da redução de emissões nos diversos meios que incluem transporte de carga. Como objetivo de estudo, projeta-se uma aplicação em uma rodovia brasileira, e usando dados como, frota de veículos de carga da capital, emissões, fluxo de veículos diários. Estimasse com base em cálculos, a redução de emissões no trajeto em qual a eletro rodovia será aplicada, e aborda-se também os efeitos dos poluentes, principalmente, dos emitidos por veículos movidos a Diesel. Seus efeitos no ambiente e no corpo humano. O trajeto tema para essa aplicação, é o trajeto entre o porto de Santos e a cidade de São Paulo, usando-se da via Anchieta. O trabalho contempla também um breve estudo de tecnologia elétrica, e híbrida. Modais de transporte terrestre, movidos a diesel e elétricos. E experiência da aplicação da eHighway, atualmente na Europa. Também se têm como objetivo do trabalho o estudo de uma nova tecnologia, e a fundamentação de material técnico sobre a mesma para uso futuro em projetos, e estudos de faculdades e instituição de ensino.

Palavras-chave: eHighway; mobilidade; veículos; elétricos; frota; emissões;

ABSTRACT

The present monography contemplates the study of the eHighway technology, which is currently being tested in some European countries, such as Sweden, Germany and in a citizen of the United States of America. The technology consists of the use of a hybrid cargo vehicle, that using an active pantograph connected to an electrical network, uses this source of energy to power its electric propulsion system, and travel this electro highway. During the journey, the vehicle uses a non-polluting source of propulsion, and its project is based on the study of the reduction of emissions in the various means that include cargo transport. As a study objective, an application is designed on a Brazilian highway, and using data such as the capital's freight vehicle fleet, emissions, daily vehicle flow. Estimates based on calculations, the reduction of emissions on the path in which the electro highway will be applied, and also addresses the effects of pollutants, mainly those emitted by vehicles powered by Diesel. Its effects on the environment and the human body. The route theme for this application is the route between the port of Santos and the city of São Paulo, using Via Anchieta. The work also includes a brief study of electric and hybrid technology. Land transport modes, powered by diesel and electric. And eHighway application experience, currently in Europe. The objective of the work is also to study a new technology, and to base technical material on it for future use in projects, and studies of faculties and teaching institutions.

Keywords: eHighway, mobility, vehicle, electric, fleet, emissions;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – E-VER/REX.....	18
Figura 02 - FCEV.....	19
Figura 03 - BEV.....	19
Figura 04 – Quantidade por tipo de veículos elétricos.....	22
Figura 05 – Crescente de veículos elétricos aos anos.	23
Figura 06 – E-Delivery Volkswagen.....	24
Figura 07 – Linha VNR Volvo Electric.....	25
Figura 08 – Relação de emissões por fase do Proconve.....	29
Figura 09 – Emissões por tipo de veículo.....	31
Figura 10 – Maiores Emissores dos GEE.....	32
Figura 11 – Gráfico de Não conformidade de Veículos Diesel.....	35
Figura 12 – Protótipo de E-Highway e veículo de teste.	37
Figura 13 – Modelo computadorizado de unidade elétrica.	38
Figura 14 – Modelo na fábrica da Scania.	38
Figura 15 – Sistema em funcionamento.	39
Figura 16 – Exemplo para transporte no porto.	39
Figura 17 – Exemplo de uso para Mineração.....	40
Figura 18 – Modelo de Tróibus da empresa Metra.	40
Figura 19 – Rodovia Anchieta.....	42
Figura 20 – Pantógrafo utilizado nos trens da CPTM.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparativo Combustão x Elétrico.....	20
Tabela 02 – Vantagens e desvantagens dos veículos elétricos em relação ao veículo a combustão.....	21
Tabela 03 – Comparativo entre modelos BYD.....	25
Tabela 04 – Total de Veículos no Brasil.....	26
Tabela 05 – Total de veículos em São Paulo.....	27
Tabela 06 – Veículos Diesel para São Paulo.....	27
Tabela 07 – Idade média dos veículos em 2015.....	28
Tabela 08 – Idade média de veículos 2022.....	29
Tabela 09 – Quantidade de Ônibus e Microônibus.....	30
Tabela 10 – Efeito dos poluentes veiculares no Corpo Humano.....	32
Tabela 11 – Emissões de CO2.....	33
Tabela 12 – Emissões de 2017-2020 para Veículos Pesados.....	34
Tabela 13 – Amostragem de veículos diesel não conformes.....	35
Tabela 14 – Valor diário médio de tráfego (VDM).....	41
Tabela 15 – Cálculo da Frota Diesel Brasileira.....	44
Tabela 16 – Frota Diária Anchieta x Total Brasil.....	44
Tabela 17 – Total de Poluentes da Frota Diesel em 2019.....	44
Tabela 18 – Poluição Total x Poluição Anchieta.....	45
Tabela 19 – Total diário de Emissões na Rodovia Anchieta.....	45
Tabela 20 – Total Anual de Emissões na Rodovia Anchieta.....	45

LISTA DE ABREVEATURAS E SIMBOLOS

CO₂ – Dióxido de Carbono

E-VER/REX – Veículos Elétricos com Autonomia Estendida

FGV – Fundação Getúlio Vargas

FCEV – Veículo Elétrico Movido a Célula de Combustível

BEV – Veículo Elétrico à Bateria

Km – quilometro

Km/l – quilometro por litro

MCI – Motor à Combustão Interna

kWh – Quilowatt por hora

kW – Quilowatt

cv – Potência

rpm – Rotações por minuto

Nm – Newton metro

Kg – quilograma

Kgf.m – Quilograma força metro

Proconve – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

P7 – Proconve Fase 7

P6 – Proconve Fase 6

P5 – Proconve Fase 5

P4 – Proconve Fase 4

P3 – Proconve Fase 3

P2 – Proconve Fase 2

P1 – Proconve Fase 1

PCPV – Plano de Controle de Poluição Veicular

USP – Universidade de São Paulo

CO – Monóxido de Carbono

SO₂ – Dióxido de Enxofre

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

O₃ – Ozônio

MP – Material Particulado

GEE – Gases do Efeito Estufa

VDM – Valor Diário Médio

g – Gramas

HC – Hidrocarbonetos

CH₄ – Metano

NO_x – Número de Oxidação

Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
Renováveis

Sindipeças – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos
Automotores

Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Artesp – Agência de Transporte do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
1.1. Motivação.....	15
1.2. Objetivo.....	16
1.3. Metodologia de Pesquisa.....	16
1.4. Estrutura e Organização.....	17
2. Revisão Bibliográfica.....	17
2.1. Veículos Elétricos.....	17
2.1.1. Tipos de Veículos Elétricos.....	18
2.1.2. Comparativo Entre Veículos Elétricos e Combustão.....	20
2.1.3. Vantagens e Desvantagens.....	20
2.1.4. Panorama dos Veículos Elétricos no Brasil.....	22
2.2. Caminhões e Transporte de Carga.....	23
2.2.1. Linha Elétrica.....	24
2.2.2. Transporte de carga no Brasil.....	26
2.2.3. Transporte de Passageiros.....	30
2.3. Emissões Automotivas.....	30
2.3.1. Dados de Emissões de Frota.....	33
3. eHighway.....	36
3.1. eHighway no mundo.....	37
3.2. Aplicação.....	38
4. eHighway no Brasil.....	41
4.1. Rodovia Anchieta.....	41
4.2. Modelo de aplicação no Brasil.....	42
4.3. Estudo estatístico do projeto.....	43
5. Conclusão.....	47
6. Propostas Futuras.....	49
7. Bibliografia.....	50

1. INTRODUÇÃO

As atuais mudanças climáticas e os novos modais de transporte pressionam os mercados de todo o mundo por novas tecnologias. Seja a área que for, e o item que for, é necessário se repensar, sua produção, transporte, e reciclagem de modo que afete o mínimo possível o meio ambiente.

Pensando nessas soluções empresas da Europa apostam e uma nova tecnologia na área do transporte de carga rodoviário, as eHighway. Rodovias eletrificadas que fornecem energia aos caminhões híbridos durante seu trajeto. Utilizando-se de um pantógrafo ativo eles são conectados à rede elétrica aérea e operam utilizando o motor elétrico durante todo o trajeto da rodovia eletrificada. Os veículos são caminhões híbridos e ao terminarem o percurso pela rodovia passam a utilizar os motores a combustão. Semelhante a essa tecnologia, o Brasil utiliza os famosos trólebus desde 1949, em São Paulo, como percussores vindos da Alemanha datados de 1882. São utilizados até os dias de hoje para o transporte de pessoas pela rede pública.

Imaginando a aplicação da tecnologia trólebus, aos veículos de carga rodoviária no Brasil, esse trabalho traz dados de impactos ambientais na possível aplicação da eHighway em uma rodovia Brasileira, e quanto isso pode impactar na alteração de frota, visando o futuro dos veículos eletrificados, veículos de carga híbridos com motores a combustão Euro 6. E estudar os efeitos na redução dos impactos ambientais na cidade de São Paulo. Para esse estudo será usado como trajeto a Rodovia Anchieta, entre São Paulo e o porto de Santos.

1.1. MOTIVAÇÃO

A ideia teve origem durante a aula de Estruturas Veiculares, ministradas pelo orientador desse projeto. Onde o tema foi citado, visando o protótipo em criação na Alemanha. O interesse pelo tema e uma pesquisa mais profunda sobre a tecnologia, foi compreendido através do atual cenário mundial, as possibilidades da ideia para um estudo sobre a aplicação no Brasil. Unindo essa ideia ao conceito de um estudo semelhante nunca ter sido abordado no Brasil, ao menos não publicamente, esse trabalho embarca na ideia de trazer um novo projeto para uma das maiores áreas do transporte de carga terrestre brasileiro, e com índices de impactos positivos no meio ambiente, envolvendo

a redução de material particulados emitido pelos veículos pesados, emissões de CO₂ e o incentivo a evolução de frota, utilizando-se de veículos híbridos Euro 6 (atual norma).

1.2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é apresentar inicialmente um estudo sobre a aplicação de uma eHighway na cidade de São Paulo, sendo as mesmas conhecidas como Rodovias eletrificadas, assim como suas possíveis aplicações, pontos positivos e negativos.

Como objetivo segundo temos o propósito de mostrar um panorama dos transportes de carga rodoviário no Brasil, assim como também um panorama do estado da eletrificação de veículos no Brasil

E para finalizar mostra-se dados de emissões veiculares no Brasil, assim como uma estimativa de redução dessas emissões com a aplicação das eletrorodovias.

1.3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para esse trabalho foi coletado material técnico sobre o funcionamento de caminhões e veículos elétricos, e do funcionamento do Trólebus, que será o principal ponto de partida. Esses dados servirão para entender a aplicação do sistema na prática. Em seguida serão analisados dados de circulação da frota brasileira, com foco em transportes de carga, que será o modal do projeto. Esses dados serão usados para estipular os valores do resultado da possível aplicação.

1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO.

O trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro será dedicado a apresentação e as motivações do trabalho. No segundo o foco será na abordagem dos temas que envolvem este estudo de caso, trazendo assim os dados básicos para seu entendimento. O terceiro trará o tema central do projeto, seu conceito, origem e aplicações. O quarto capítulo é focado nos dados estatísticos do Brasil, e no estudo da aplicação do projeto. E no quinto serão apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será revisado todos os conceitos e teorias necessários para o trabalho, essa abordagem traz conhecimentos prévios para entender o principal tema do projeto.

2.1. VEÍCULOS ELÉTRICOS

“Um veículo elétrico é um veículo que possui as seguintes características: (1) A fonte de energia é portátil e eletroquímica ou eletromecânica na natureza e (2) esforço de tração é fornecida apenas por um motor elétrico” (Iqbal Husain, 2010).

Como abordado na breve introdução deste capítulo, o foco principal será a aplicação dos motores elétricos em veículos comerciais pesados e semipesados, mas antes precisa-se verificar um panorama sobre a eletrificação veicular.

Segundo uma pesquisa feita pelo site, Caradisiac, em 2014. Os veículos elétricos constituem sua vantagem por serem meios quase não poluentes (atmosférico e sonoro). Sendo o rendimento de um motor elétrico situado por volta de 77%, indo além de seu concorrente, o motor a combustão, com eficiência máxima já registrada em 50%, motor diesel de dois tempos com sobre alimentação turbo, 42% para motores diesel com sistema Common Rail, e em torno de 36% para motores a gasolina.

O ponto negativo está na produção dos veículos elétricos, no qual é estimado que seja produzido até 70% a mais em emissões se comparado a veículos a combustão, segundo um estudo desenvolvido por fabricantes de veículos elétricos, e com base no

último relatório da montadora Volvo. E é claro que um veículo elétrico é atualmente mais caro do ponto de vista de mercado, do que veículos equipados com motor a combustão. Mas pode-se por exemplo, observar do ponto de vista de manutenções preventivas, que o veículo elétrico por ter menos peças moveis, tem sua manutenção reduzida.

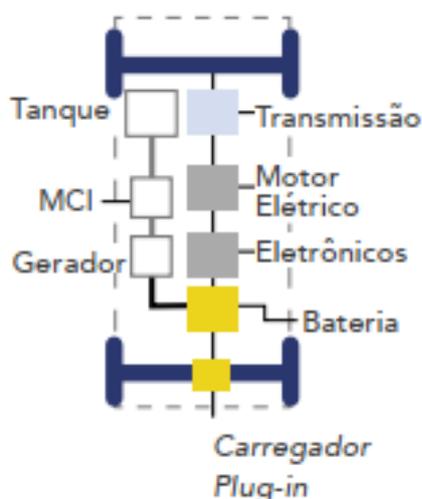
Acredita-se que o grande ponto envolvendo o motor a combustão é o fato do mesmo gerar emissões durante toda sua vida útil, enquanto que os veículos elétricos somente em sua produção.

E para finalizar, pode-se considerar a necessidade de combustível fóssil para operar (motor a combustão), item esse que a comunidade científica luta todos os dias para reduzir o uso.

2.1.1. TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Existem no mercado alguns tipos de veículos elétricos, onde a propulsão principal é por meio do motor elétrico, cada um com seus itens particulares. Inicialmente tem-se pelo “Veículos elétrico com Autonomia Estendida (E-VER ou REX)”, indicado na figura 01.

Figura 01 – E-VER/REX



Fonte: Manual do Carro Elétrico FGV, 2016

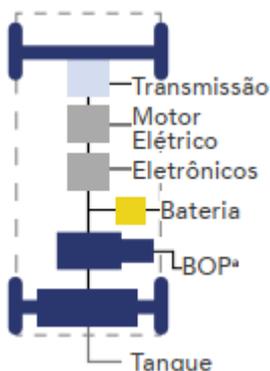
Nos modelos de E-VER ou REX, a fonte principal de propulsão é o motor elétrico. Porém ele ainda dispõe de um motor a combustão, que irá fornecer energia para o motor

elétrico. Essa modalidade ainda gera poluição ao ambiente, mas é a modalidade que se enquadra entre a mais barata e a mais cara, para aquisição em relação as três que serão apresentadas.

O segundo modelo que se pode abordar é o “Veículo Elétrico Movido a Célula de Combustível (FCEV)”, mostrado na figura 02.

Veículo esse que dispõe de um motor elétrico e uma célula de combustível, não gera poluição e das três modalidades que serão apresentadas, é versão mais cara de obtenção.

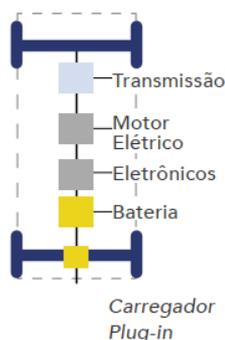
Figura 02 - FCEV



Fonte: Manual do Carro Elétrico FGV, 2016

A última modalidade é o “Veículo Elétrico à Bateria (BEV)” veículo com motor totalmente elétrico, com zero geração de poluentes, baixa autonomia, e as modalidade mais barata para aquisição entre as três apresentadas, considerando apenas veículos onde a fonte primaria de propulsão é o motor elétrico, porém comparado a veículos híbridos, os modelos com motor a combustão como fonte primaria tem valor de mercado menor.

Figura 03 - BEV



Fonte: Manual do Carro Elétrico FGV, 2016

2.1.2. COMPARATIVO ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS E COMBUSTÃO

Um ponto importante para esse estudo é a comparação a eficiência dos MCI com os Veículos Elétricos, e principalmente mostrar as vantagens da mudança de tecnologia.

Para isso fazendo-se um rápido comparativo entre os dois tipos de veículos, relacionando consumo x preço de combustível x autonomia. Pode-se ter o seguinte dado:

Tabela 01 – Comparativo Combustão x Elétrico

	Veículo a Combustão	Veículo Elétrico
Distância Percorrida	15000 km	15000 km
Consumo	12 km/l	8 km/kWh
Preço Comb./ Energia	R\$ 6,89	R\$ 0,59*
Gasto Total	R\$ 8.612,50	R\$ 1.106,25

***Valor sem impostos para Região de São Paulo - 2022**

Fonte: Autor.

Como pode-se observar ver o valor final de consumo do veículo elétrico mesmo com autonomia menor que um veículo a combustão, é melhor que seu corrente. Pode-se então após esse novo dado apresentar as vantagens e desvantagens do veículo elétrico.

É válido ressaltar que os valores mesmo com impostos para o kWh, ainda é menor que o litro da gasolina.

2.1.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Pode-se citar como vantagens dos veículos elétricos os seguintes pontos. Iniciando-se com a sustentabilidade, onde o veículo elétrico é meio de transporte não poluente, durante seu funcionamento. Não levando em consideração seu processo construtivo. O uso de energia elétrica como meio de propulsão, não libera gases tóxicos ao ambiente. E o incentivo ao uso da eletricidade ao encontro a necessidade de deixarmos de usar combustíveis fósseis em nossa sociedade.

O segundo ponto a se abordar é a eficiência do motor elétrico, em relação a performasse. Sabe-se que veículos movidos a combustão interna tem seu rendimento em torno de 35%, e o restante se concentra em perdas térmicas ao longo do sistema *Powertrain*.

Ainda nas vantagens têm-se como pontos positivos a economia no combustível, uma vez que no comparativo que o kWh é mais barato que o preço da Gasolina/Etanol. O veículo elétrico conta atualmente com 100% de isenção da taxa de importação para veículos totalmente elétricos com autonomia de pelo menos 80 quilômetros, para veículos até e redução de impostos. Por fim, a vantagem de ser silencioso, se comparado a veículos a combustão, mesmo que muitos usuários não gostem de um motor silencioso, sabe-se que a diminuição de poluição sonora é benéfica para a sociedade, e a baixa manutenção, uma vez que o veículo não depende de troca de partes mecânicas, óleos e fluidos de forma periódica se comparado ao concorrente a combustão.

Mesmo assim, os veículos elétricos também possuem suas desvantagens. Como o alto preço de aquisição, devido ainda não ser uma modalidade comum de consumo. O elevado tempo de carga das baterias também vêm desagradando os consumidores, e por fim, sua autonomia em relação aos veículos a combustão, onde ainda sim o veículo elétrico tem menor autonomia, em por kWh em relação ao km/l.

Em resumo, na tabela 02 pode-se ver o compilado de vantagens e desvantagens de um veículo elétrico em relação a um veículo a combustão:

Tabela 02 – Vantagens e desvantagens de um veículo elétrico em relação ao veículo a Combustão

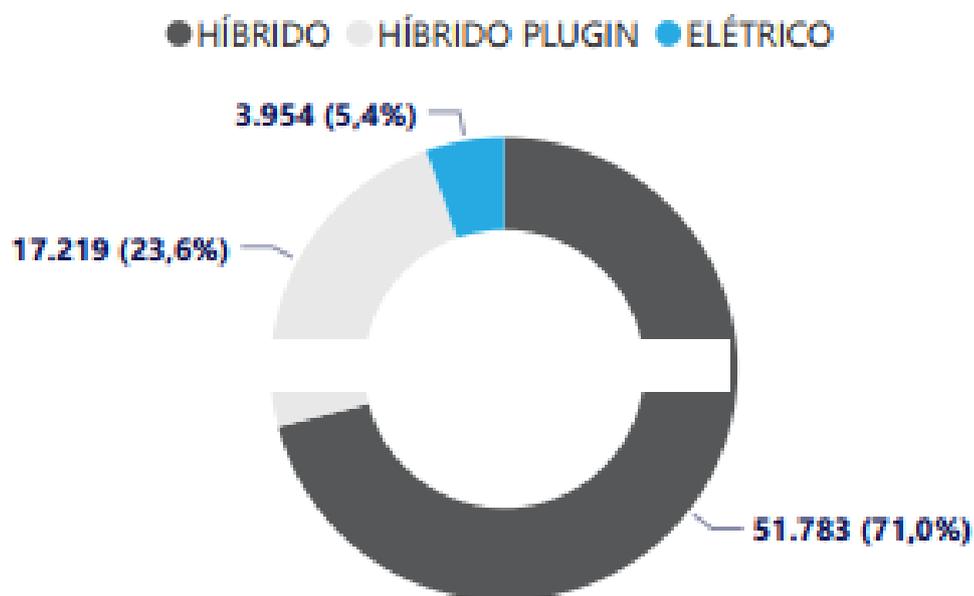
VANTAGENS	DESvantagens
Sustentabilidade	Autonomia
Manutenção	Preço
Eficiência	Tempo de Recarga
Impostos	
Ruidos	

Fonte: Autor

2.1.4. PANORAMA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

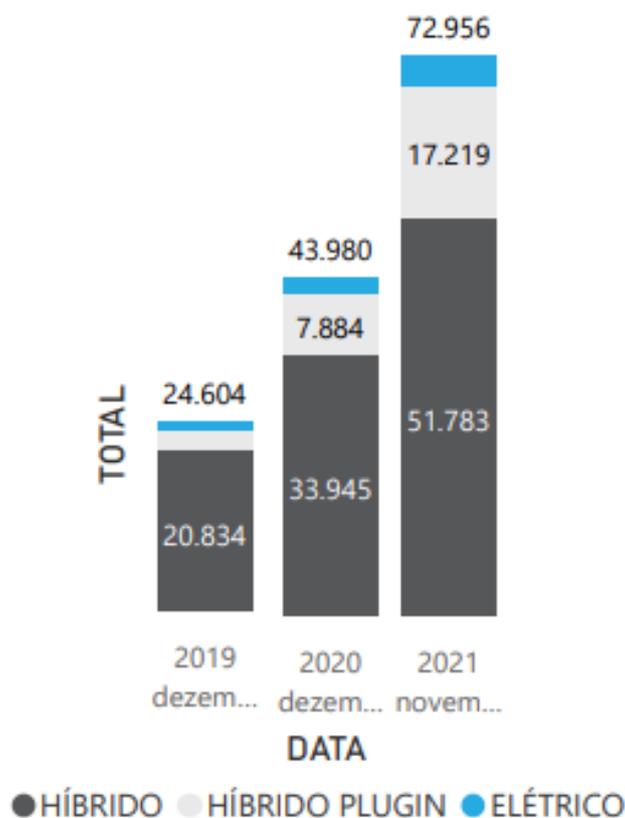
Para finalizar a parte de veículos elétricos, abaixo pode-se ter um panorama dos veículos elétricos no Brasil. Na figura 04, pode-se observar uma crescente ao longo dos anos, o que mostra que o consumidor final vem adotando o modal elétrico, mesmo que aos poucos, fazendo a tecnologia ficar mais presente no país, e também na figura 05, pode-se verificar os números por tipo de veículo elétrico.

Figura 04 – Quantidade por tipo de veículos elétricos.



Fonte: Neocharge, 2022.

Figura 05 – Crescente de veículos elétricos aos anos.



Fonte: Neocharge, 2022.

Observa-se que em sua maioria os veículos híbridos ainda dominam as vendas, aliados da economia, mecânica robusta e atrativo para aqueles que se preocupam com o meio ambiente, os veículos híbridos são a porta de entrada para que os modais totalmente eletrificados ocupem ao mercado.

2.2. CAMINHÕES E TRANSPORTE DE CARGA

Quando se fala da eHighway, os dois temas mais importantes a serem abordados é o modal elétrico, como visto anteriormente, e os veículos de transporte de carga pesada.

Um dos principais pontos que será abordado neste capítulo é o funcionamento básico dos veículos de carga, movido a Diesel, para entendermos o atual panorama brasileiro.

2.2.1. LINHA ELÉTRICA

Na linha de caminhões elétricos o Brasil ainda apresenta pouca variedade no mercado. Nos últimos anos, apenas algumas montadoras apresentaram opções dessa modalidade. Entre elas, a Volkswagen se destaca com o E-Delivery, caminhão de pequeno porte, fornecido em duas versões. E-Delivery 11, veículo de 4x2 e o E-Delivery 14, veículo 6x2.

E-Delivery 11 apresenta 300CV(kW) @ 1.360 a 3.500 rpm, com torque máximo de 2.150 Nm @ 1.360 rpm. Já o E-Delivery 14 possui as mesmas condições, porém para um peso bruto total de 14.300 kg, se comparado a versão 11 de 10.700 kg. Ambos possuem um motor elétrico de 300kW, equivalente a 408CV, posicionado na parte traseira do veículo, possibilitando maior espaço para as baterias, assim como o freio regenerativo que ajuda na recarga das baterias.

Figura 06 – E-Delivery Volkswagen



Autor: Site da Volkswagen

No Brasil, ainda temos a JAC Motor, e a BYD com fabricantes de caminhões elétricos. A BYD se destaca como a primeira a trazer caminhões elétricos ao Brasil, atualmente com do modelos o eT7 12.220, com a premissa de evitar 81 toneladas de CO2 ao ano. Segundo o

fabricante o veículo possui 230 km de autonomia, freio regenerativo, transmissão automatizada, com tempo de recarga de 2 a 3 horas.

Abaixo na tabela 03 pode-se observar um documento comparativo entre os dois modelos eT7 e o eT18 da BYD.

Tabela 03 – Comparativo entre modelos BYD

INFORMAÇÕES TÉCNICAS		eT18 21.250	eT7 12.220
Tipo		Motor síncrono de ímãs permanentes	
Modelo		T2270XSD	T2365XSC07
MOTOR	Potência máxima	180 kW (245 cv)	160 kW (215 cv)
	Potência nominal	125 kW (170 cv)	95 kW (129 cv)
	Torque máximo	450 Nm (45,9 kgf.m)	1,150 Nm (117 kgf.m)
	Torque nominal	285 Nm (29 kgf.m)	525 Nm (53,5 kgf.m)
	Rotação máxima	9.000 rpm	4.500 rpm

Fonte: BYD.

Para esse projeto, os veículos apresentados podem e devem englobar a linha de usuários da tecnologia. Porém, uma parte importante desse projeto é os caminhões de carga de maiores portes, sendo os apresentados, veículos de circulação mais comum entre os centros expandidos, e a capital.

Para tecnologias rodoviárias, o Brasil ainda não possui caminhões de peso, sendo a Europa uma das precursoras na modalidade, com Volvo e Scania apresentando veículos rodoviários de alto desempenho com alta autonomia, abaixo pode ver a linha VNR Volvo.

Figura 07 – Linha VNR Volvo Electric



Fonte: Site da Volvo

2.2.2. TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL

O transporte de carga rodoviário no Brasil, entre os modais de transporte, é o maior do país, sendo largamente usado para o transporte de inúmeros produtos, dos mais variados tipos, desde líquidos até peças de dimensões gigantescas. Também aplicados ao transporte de passageiros nas regiões metropolitanas, intermunicipais e interestaduais.

Um dos pontos mais importantes para esse estudo é analisar tamanho da frota de caminhões no Brasil, no estado de aplicação desse estudo, no caso São Paulo, e a idade média da frota.

Abaixo na tabela 04, é apresentado os números de quantidade de veículos, por tipo e a porcentagem equivalente, para frota de veículos total no Brasil, atualizados até março de 2022.

Tabela 04 – Total de Veículos no Brasil

PORCENTAGEM DE VEÍCULOS		
TIPO	QUANTIDADE TOTAL	PORCENTAGEM
BRASIL	112.173.572	100,000%
AUTOMÓVEL	59.463.562	53,010%
BONDE	42	0,00004%
CAMINHÃO	2.964.535	2,640%
CAMINHÃO TRATOR	806.469	0,720%
CAMINHONETE	8.779.500	7,830%
CAMIONETA	3.936.381	3,510%
CHASSI PLATAFORMA	1.669	0,000%
CICLOMOTOR	434.985	0,390%
MICROÔNIBUS	428.015	0,380%
MOTOCICLETA	24.933.184	22,230%
MOTONETA	5.117.750	4,560%
ÔNIBUS	675.881	0,600%
QUADRICICLO	279	0,000%
REBOQUE	1.776.800	1,580%
SEMI-REBOQUE	1.170.576	1,040%
SIDE-CAR	8.570	0,010%
OUTROS	271.348	0,242%
TRATOR ESTEIRA	211	0,000%
TRATOR RODAS	35.176	0,030%
TRICICLO	40.899	0,040%
UTILITÁRIO	1.327.740	1,180%

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022.

Desses dados deve-se atentar para os valores apresentados por estado, sendo o mais importante para a pesquisa, o valor total de veículos em São Paulo.

Tabela 05 – Total de veículos em São Paulo

Grandes Regiões e Unidades da Federação	TOTAL
São Paulo	31.620.839

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022.

Desse valor total que envolve todas as modalidades da tabela 04 apresentada, tem-se agora a tabela 06, onde é visto a quantidade por tipo de veículo. Onde o maior critério são os valores para veículos de carga e passageiros movidos a motor diesel.

Tabela 06 – Veículos Diesel para São Paulo

PORCENTAGEM DE VEÍCULOS	
TIPO	QUANTIDADE TOTAL
CAMINHÃO	706.298
CAMINHÃO TRATOR	204.724
CAMINHONETE	2.190.258
CAMIONETA	1.379.932
CHASSI PLATAFORMA	557
MICROÔNIBUS	126.154
ÔNIBUS	168.938
REBOQUE	398.837
SEMI-REBOQUE	295.908
TRATOR ESTEIRA	55
TRATOR RODAS	12.056
UTILITÁRIO	414.699
TOTAL DIESEL	5.898.416
TOTAL SÃO PAULO	31.620.839
PORCENTAGEM	18,65%

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022.

Através da tabela acima, os veículos diesel representam 18% da frota total de veículos de São Paulo, mas antes é válido lembrar, é que junto com as emissões, mostrar também que os

veículos Diesel, no Brasil, não são todos modernizados, sendo que muitos veículos ainda em circulação não possuem certificação Proconve 7.

Como pode-se ver na tabela 7 abaixo, em 2015 a idade da frota de veículos circulante, sem discriminação de tipo. Apenas 41% da frota tinha menos de 5 anos, se for levado em consideração que o P7 entrou em vigor em 2012, pode-se dizer que esses 41% estão divididos em P7/P5. Mas nota-se que 14% da frota em 2015 ainda tinha entre 16 a 20 anos de idade atendendo ainda a norma P3 ou inferior, onde o índices de emissões ainda são maiores.

Tabela 07 – Idade média dos veículos em 2015

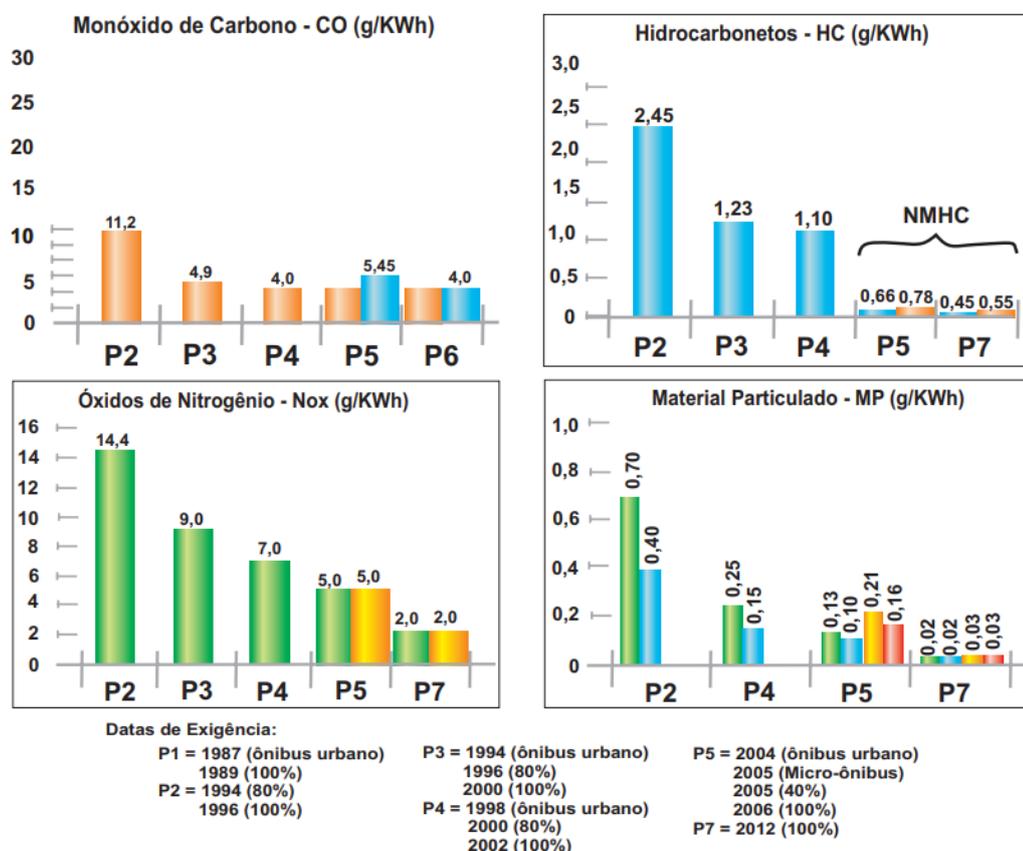
Idade da frota circulante

Idade	Ano	Frota	Frota acumulada
1	2014	2.887.086	
2	2013	3.684.166	16.849.395
3	2012	3.622.200	41%
4	2011	3.384.574	
5	2010	3.271.369	
6	2009	2.908.285	
7	2008	2.607.780	10.893.851
8	2007	2.210.363	26%
9	2006	1.691.580	
10	2005	1.475.843	
11	2004	1.383.930	
12	2003	1.153.659	6.255.561
13	2002	1.224.068	15%
14	2001	1.304.068	
15	2000	1.180.836	
16	1999	960.468	
17	1998	1.109.602	5.746.757
18	1997	1.354.735	14%
19	1996	1.171.120	
20	1995	1.150.832	

Fonte: Site do Ibama, 2021.

Abaixo na figura 08 pode-se ver uma relação dos valores de emissões para cada fase do proconve, separados por tipo de poluente, como exemplo da figura, temos CO, HC, NOx, e MP. Todos os valores apresentados em g/kWh. E dentre os agentes poluentes, é importante que se atente para o NOx e para o MP, pois tem causa/efeito altos no meio ambiente e no corpo humano.

Figura 08 – Relação de emissões por fase do Proconve



Fonte: Site do Ibama, 2021.

E para finalizar essa análise tem-se um dado atual da idade da frota de veículos. E pode-se observar que a idade média aumentou ao longo dos anos, sendo a frota de Caminhões e Comerciais Leves, tendo agora entre 8 a 11 anos de idade, como pode-se ver na tabela 08 apresentada.

Tabela 08 – Idade média de veículos 2022.

Segmento	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Automóveis	8a6m	8a8m	8a11m	9a3m	9a6m	9a7m	9a10m	10a2m	10a5m
Comerciais Leves	7a3m	7a	7a3m	7a6m	7a9m	7a11m	8a2m	8a5m	8a7m
Caminhões	9a6m	9a7m	10a	10a6m	11a	11a4m	11a7m	11a7m	10a11m
Ônibus	8a11m	8a11m	9a8m	9a8m	10a1m	10a4m	10a7m	10a7m	11a1m
TOTAL	8a5m	8a6m	8a9m	9a1m	9a4m	9a6m	9a8m	10a	10a3m

Ex: 8a6m = 8 anos e 6 meses

Fonte: Sindipeças, 2021.

2.2.3. TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

Um ponto importante a se observar também é o transporte de passageiros. Nesse quesito é possível levar em consideração os seguintes dados abaixo apresentados na tabela 09.

Tabela 09 – Quantidade de Ônibus e Microônibus

Microônibus	126.154	Uni.
Ônibus	168.938	Uni.

Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2022.

A utilização de microônibus é muito comum para o uso dentro da cidade, nesse caso nosso foco será na categoria ônibus, que abranger os veículos de viagem rodoviário. Pois eles podem ser usuários da tecnologia eHighway.

Nesse caso, ressalta-se a tecnologia aplicada a veículos trólebus em São Paulo. Dado que essa aplicação se assemelha muito com à tecnologia em estudo nesse trabalho. Assim como a eHighway, o trólebus usa-se da energia elétrica, fazendo uma ligação entre a rede elétrica e o motor do veículo, assim ele circula por uma rota pré-determinada, semelhante a eHighway, estando a diferença no fato da rota ser urbana e não rodoviária. O ônibus é totalmente elétrico e não funciona, sem estar ligado a essa rede. Mas se pensar nas diversas aplicações da eHighway, não limitando apenas a veículos de carga, porque não aplicar a tecnologia a transporte rodoviário de pessoas, semelhante aos próprios trólebus, aplicado o trecho de estudo. Os veículos de transporte com foco em turismo para a praia, uma vez equipados, podem se beneficiar da tecnologia.

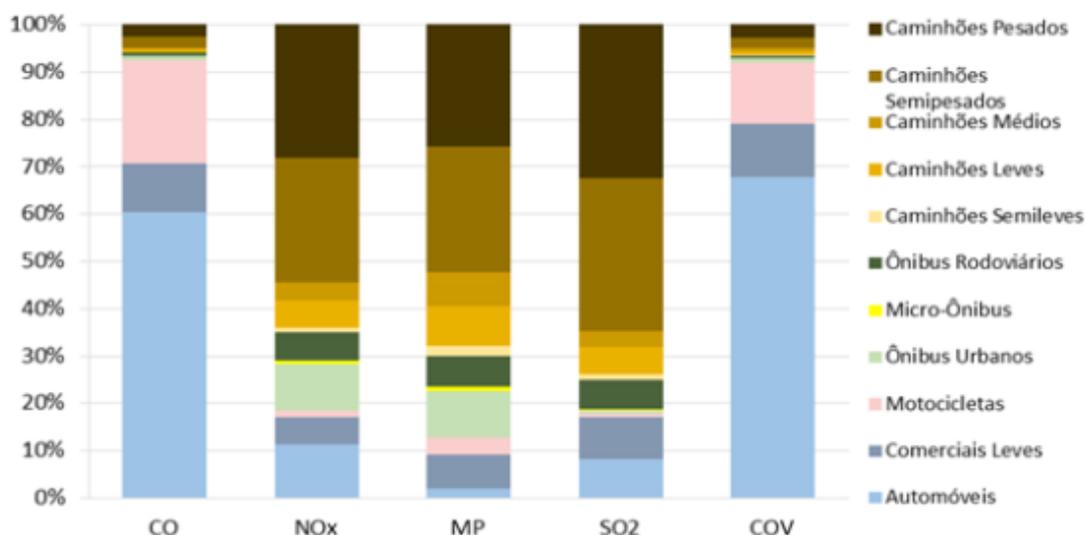
2.3. EMISSÕES AUTOMOTIVAS

“Em grande parte proveniente dos veículos motorizados, poluição atmosférica reduz expectativa de vida em até um ano e meio” (Paulo Saldiva, 2007).

Um dos pontos mais importantes a ser abordado nesse trabalho é relacionamento da tecnologia com os níveis de emissões, com foco é claro nas emissões do Ciclo Diesel e nos efeitos da aplicação na redução de emissões. Inicialmente serão apresentados os dados de níveis de emissões, e então avaliar os impactos da aplicação da tecnologia eHighway nas emissões, uma vez implantada.

Na figura 09, pode-se verificar os níveis de poluentes para cada tipo de veículo.

Figura 09 – Emissões por tipo de veículo



Fonte: CETESB (4)

Fonte: Plano de Controle de Emissões, 2021-2022

O gráfico da figura 09 acima, fornecido no PCPV (Plano de Controle de Poluição Veicular no Estado de São Paulo, 2020-2022) apresenta os maiores poluidores da capital, e o plano de redução de emissões para 2020-2022.

Nele pode-se ver claramente que os maiores poluidores da capital são os automóveis e o caminhões, somando-se as diferentes categorias de peso. Mas não é de hoje que se tem o debate sobre poluição automotiva, um tema que percorre a sociedade desde o início de seus estudos ainda na década de 1970. Paulo Saldiva, é médico patologista e pesquisador da Universidade de São Paulo (USP), e ainda em 2007 em uma publicação da revista mensal da USP, já falava sobre o aumento de doenças cardiopulmonares devido aos aumentos das emissões industriais, e na grande cidade devido ao aumento das emissões veiculares, ressaltando exatamente os poluentes abordados neste estudo.

Os principais efeitos no meio ambiente são: descontrole do efeito estufa, contribuição para o aquecimento global; Efeito Smog; e Chuva Ácida.

Na tabela 10 abaixo, é possível verificar os efeitos das emissões no corpo humano:

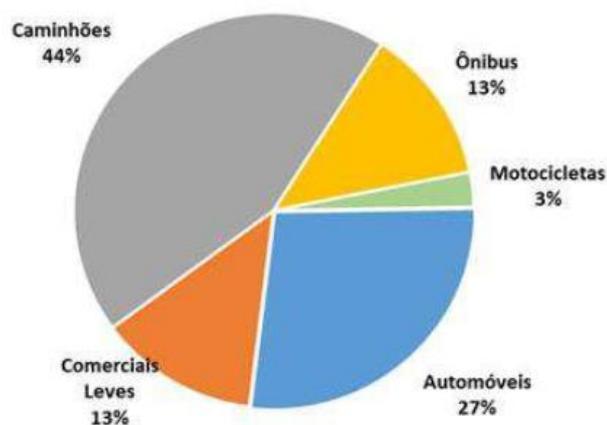
Tabela 10 – Efeito dos poluentes veiculares no Corpo Humano

CO	Monóxido de Carbono	Interferência na capacidade do sangue oxigenar os tecidos e órgãos vitais como o coração e o cérebro. Danos à percepção, à acuidade visual, à atividade mental e aos reflexos
SO ₂	Dióxido de Enxofre	Irritação às vias respiratórias, aos olhos, danos à pele e às plantas
NO _x	Óxidos de Nitrogênio	Debilita o sistema imunológico, aumentando a suscetibilidade à contaminação por vírus e bactérias, podem provocar desconforto respiratório e alteração celulares.
COV	Compostos Orgânicos Voláteis	Irritações no trato respiratório, nos olhos, nariz e pele, efeitos narcóticos, mal-estar, dor de cabeça e sonolências. Responsáveis pelo aumento de incidência de câncer no pulmão
O ₃	Ozônio	Irritação nos olhos, no nariz e garganta, dores de cabeça, redução das funções pulmonares, envelhecimento precoce, diminuição da capacidade do organismo de resistir a infecções respiratórias.
MP	Material Particulado	As partículas maiores ficam retidas no nariz e na garganta, causando irritação nas vias respiratórias e facilitando a propagação de infecções virais e bacterianas. Partículas menores atingem o pulmão e podem causar alergias, asma e bronquite, aumentando as doenças pulmonares e cardíacas.

Fonte: Combustíveis e Sistema Híbridos, Material de Aula do Professor Adriano Ribolla. Fatec Santo André, 2022.

Ainda relembrando a figura 10 tem-se que os piores efeitos são causados justamente pelos agentes poluidores emitidos pelos caminhões e ônibus. Vale ressaltar também que os veículos Diesel são as maiores emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa). Sendo assim, parcela significativa do descontrolado do efeito estufa na capital.

Figura 10 – Maiores Emissores dos GEE



Fonte: CETESB (4)

Fonte: Plano de Controle de Poluição Veicular, 2021-2022.

Como pode-se ver na tabela 11, somente no ano de 2019, mais de 38 milhões de toneladas de CO₂ foram liberadas por veículos na capital. Dessa parcela total, 24,5 milhões de toneladas, foram emitidas apenas por veículos Diesel.

Tabela 11 – Emissões de CO₂

Categoria		Combustível	CO _{2eq} (mil t)
Automóveis		Gasolina C	4.920
		Etanol Hidratado	12
		Flex-Gasolina C	5.069
		Flex-Etanol Hidratado	477
Comerciais Leves		Gasolina C	1.279
		Etanol Hidratado	1
		Flex-Gasolina C	979
		Flex -Etanol Hidratado	70
		Diesel	2.661
Caminhões	Semileves	Diesel	235
	Leves		1.331
	Médios		726
	Semipesados		6.813
	Pesados		7.897
Ônibus	Urbanos	Diesel	3.082
	Micro-ônibus		283
	Rodoviários		1.566
Motocicletas		Gasolina C	883
		Flex-Gasolina C	210
		Flex -Etanol Hidratado	nd
Total			38.495

Fonte: CETESB, 2021

2.3.1. DADOS DE EMISSÕES DE FROTA

Observa-se abaixo na tabela 12 dados atuais de poluentes do Ciclo Diesel, para veículos pesados, ela apresenta dados de 2017 até 2020. Levando em consideração a fase atual do Proconve P7, e separando os veículos por caminhões e ônibus, e por categoria de peso. Os agentes poluentes são os apresentados no capítulo anterior e a amostragem é feita em g/km.

Tabela 12 – Emissões de 2017-2020 para Veículos Pesados.

Ano	Fase Proconve	Categoria		CO	HC	CH ₄	NO _x	MP	N ₂ O	Autonomia
				(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/l)
2017	P7	Caminhões	Semileves	0,030	0,004	0,06	0,484	0,003	0,03	9,1
			Leves	0,214	0,008	0,06	0,942	0,008	0,03	5,6
			Médios	0,102	0,012	0,06	0,906	0,008	0,03	5,8
			Semipesados	0,080	0,022	0,06	1,652	0,014	0,03	3,6
			Pesados	0,233	0,025	0,06	1,630	0,014	0,03	3,6
		Ônibus	Urbanos	0,462	0,024	0,06	2,645	0,021	0,03	2,1
			Micro-ônibus	0,081	0,009	0,06	1,362	0,008	0,03	3,3
2018	P7	Caminhões	Semileves	0,024	0,003	0,06	0,484	0,002	0,03	9,1
			Leves	0,230	0,009	0,06	0,875	0,009	0,03	5,6
			Médios	0,208	0,009	0,06	0,849	0,007	0,03	5,8
			Semipesados	0,099	0,017	0,06	1,593	0,014	0,03	3,6
			Pesados	0,289	0,023	0,06	1,598	0,014	0,03	3,6
		Ônibus	Urbanos	0,538	0,010	0,06	2,021	0,022	0,03	2,1
			Micro-ônibus	0,122	0,008	0,06	1,421	0,008	0,03	3,3
2019	P7	Caminhões	Semileves	0,015	0,003	0,06	0,512	0,002	0,03	9,1
			Leves	0,276	0,006	0,06	1,001	0,009	0,03	5,6
			Médios	0,203	0,009	0,06	0,829	0,008	0,03	5,8
			Semipesados	0,120	0,021	0,06	1,662	0,015	0,03	3,6
			Pesados	0,186	0,013	0,06	1,462	0,013	0,03	3,6
		Ônibus	Urbanos	0,434	0,023	0,06	2,610	0,023	0,03	2,1
			Micro-ônibus	0,154	0,008	0,06	1,472	0,008	0,03	3,3
2020	P7	Caminhões	Semileves	0,021	0,003	0,06	0,719	0,001	0,03	9,1
			Leves	0,157	0,012	0,06	1,194	0,008	0,03	5,6
			Médios	0,141	0,016	0,06	0,945	0,008	0,03	5,8
			Semipesados	0,139	0,025	0,06	1,759	0,017	0,03	3,6
			Pesados	0,191	0,013	0,06	1,648	0,014	0,03	3,6
		Ônibus	Urbanos	0,393	0,039	0,06	2,634	0,024	0,03	2,1
			Micro-ônibus	0,143	0,015	0,06	1,325	0,009	0,03	3,3
		Rodoviários	0,158	0,005	0,06	1,439	0,015	0,03	3,4	

Fonte: CETESB, 2021

Mesmo com atual fase do Proconve, já foi mostrado anteriormente que nem todos os veículos atualmente em circulação estão dentro do P7, já que foi apresentado dados da idade média da frota. Isso acarreta um valor de emissões finais variável, é importante se atentar a esse ponto, uma vez que os cálculos apresentados nesse trabalho levam em consideração os valores oficiais apresentados e mapeados pelo governo, e sabe-se que esses valores podem variar para mais, uma vez que não se tem total rastreamento das emissões para veículos mais antigos.

Usando-se da tabela 13 abaixo, pode-se entender que temos veículos que mesmo não atendendo ao P7, ainda atende Fase Proconve atuante de seu ano, estando assim dentro da legalidade, mas o dado apresentado abaixo, mostra os veículos não conformes em uma amostragem dentro da capital. Essa não conformidade é a presença de fumaça preta pelo duto de escape do veículo acima do permitido na escala Ringelmann.

Tabela 13 – Amostragem de veículos diesel não conformes.

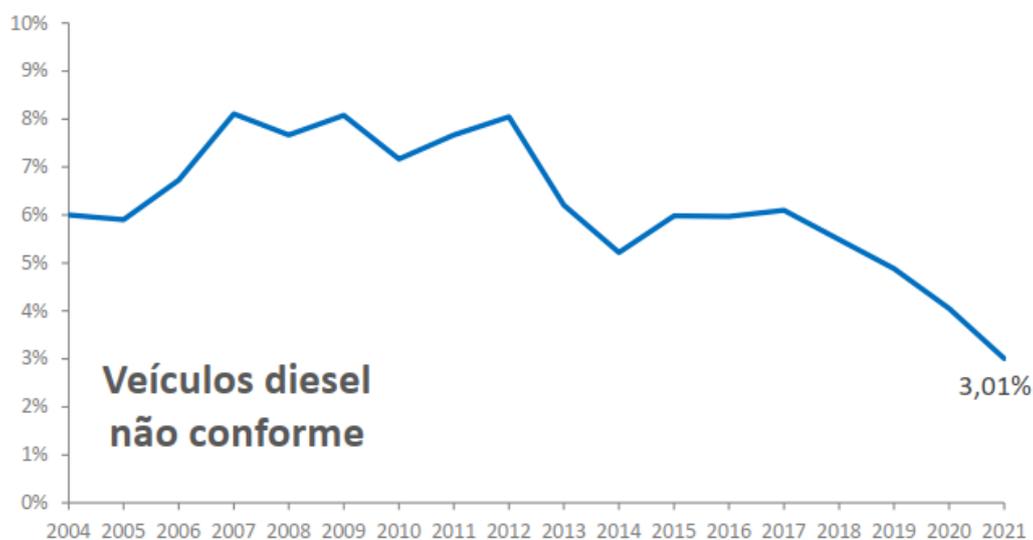
	Total	
Total de veículos amostrados	5481	
Total não conforme	165	Uni.
Índice de não conformidade	3,01%	Uni.
Intervalo de confiança de 95%	2,58% - 3,51%	
Menor não conformidade observada	0,00%	
Maior não conformidade observada	9,01%	

Fonte: Cetesb, 2021

A amostragem da tabela acima, leva dados de 2021, senso assim o mais atuais no momento, com base nisso, ao observar a figura 09, pode-se ver que ao longo do ano houve uma redução de veículos não conformes. Isso é reflexo do aumento da idade média da frota de veículos, o que leva ao aumento da manutenção. Mesmo a taxa de não conformidade sendo baixa, esse dado indica que a frota tende a continuar com a idade média alta.

Abaixo na figura 11 pode-se ver um gráfico que indica a diminuição da não conformidade, em relação ao mesmo tempo que tivemos aumento na idade da frota.

Figura 11 – Gráfico de Não conformidade de Veículos Diesel



Fonte: Cetesb, 2021

Outro ponto a se ressaltar é o fato de que uma vez que se utiliza os veículos híbridos, têm-se uma redução significativa nas emissões, onde pode-se estimar que para transporte rodoviário, o veículo passaria mais da metade de seu percurso, sobre o modal elétrico não poluente.

E se a frota fosse composta somente por veículos totalmente elétricos, pode-se concluir, que esses dados relacionados a motores ciclo diesel, não existiriam.

3. eHIGHWAY

A tecnologia eHighway consiste na ideia da eletro rodovia. Como citado em capítulos anteriores no Brasil a tecnologia se compara com algo que conhecemos como as linhas dos trólebus.

A ideia é que o caminhão elétrico, equipado com um dispositivo em sua cabina, engate nesses terminais elétricos que percorrem a rodovia, e seja fornecido para ele uma carga elétrica que manterá o veículo funcionando sem a necessidade do uso da bateria. Sendo assim, o caminhão ou ônibus pode percorrer o trajeto rodoviária, sem consumir carga da bateria, usando-a somente para percursos dentro da cidade, ou sendo um veículo da modalidade híbrida, pode-se usar o motor a combustão na cidade e o elétrico na rodovia.

A ideia tem como princípios, o incentivo da evolução de frota, aderindo aos veículos elétricos e/ou híbridos inicialmente, como modal futuro, uma vez que a tecnologia aplicada em países da Europa, ainda traz uma versão híbrida de caminhão. A tecnologia traz também um apelo de cuidados com o meio ambiente e com a saúde da população, uma vez que impactará na redução de emissões, e ruído.

Abaixo na figura 12 pode-se observar um modelo protótipo desenvolvido pela Siemens.

Figura 12 – Protótipo de E-Higway e veículo de teste.



Fonte: Manual do eHighway, Siemens, 2017.

3.1. eHIGHWAY NO MUNDO

O primeiro protótipo da eHighway está em operação desde 2010, em uma estrada privada fora de Berlim. E até o momento conta com três projetos em desenvolvimento. Em 2016, foi inaugurada a primeira eHighway na Suécia, contando com 2,1 km na rodovia E16, ao norte de Estocolmo, projeto de parceria Siemens e Scania. Já nos Estados Unidos, contamos um trecho público de 1,6 km, na Califórnia, projeto desenvolvido junto a Siemens e Mack.

Os veículos podem chegar até 90 km/h na rodovia, e estima-se que essa aplicação reduza em 6 milhões de toneladas as emissões de CO₂ anuais, somente com 30% das rodovias sendo eletrificadas como citado no próprio documento da eHighway.

Figura 13 – Modelo computadorizado de unidade elétrica.



Fonte: Manual do eHighway, Siemens, 2017.

Abaixo tem-se o modelo de aplicação utilizado pela Scania em Berlim, com extensão de 2,1 km. Outra aplicação é que se possui uma pequena rodovia interna a fábrica da Scania, sendo de pequeno percurso.

Figura 14 – Modelo na fábrica da Scania.



Fonte: Manual do eHighway, Siemens, 2017.

3.2. APLICAÇÃO

As aplicações possíveis da eHighway envolvem o trajeto rodoviário de transporte de carga, aplicações em áreas mineração, transporte de pessoas e transporte portuário. Para esse projeto inicialmente é vislumbrado a utilização da eHighway para transporte rodoviário de cargas, e pessoas. Isso através do uso da tecnologia aplicada a caminhões

híbridos ou totalmente elétricos, e em ônibus de viagens. A aplicação envolve o uso do motor elétrico ligado a rede de alimentação da eHighway, nesse ponto não haverá consumo da bateria, e durante o trajeto fora da eletro rodovia, o veículo usará do consumo da própria bateria ou de um motor a combustão, no casos do veículo híbrido.

Para o transporte de cargas, tem-se a aplicação tradicional já implantada na Alemanha, Suécia como é visto na figura 15 abaixo.

Figura 15 – Sistema em funcionamento.



Fonte: Manual eHighway, Siemens, 2017.

Para aplicações portuárias, pode-se ressaltar os deslocamentos internos entre os veículos no porto, ou como será abordado ainda nesse trabalho, a aplicação em trajeto entre Porto e Cidade, ou até mesmo deslocamento de veículos dentro das áreas do Porto. Essa aplicação é conhecida por ser utilizada nos Estados Unidos e temos um exemplo citado no manual da eHighway na figura 16 abaixo.

Figura 16 – Exemplo para transporte no porto.



Fonte: Manual eHighway, Siemens, 2017.

A aplicação em minas, é abordada na relação do trajeto entre a mina, e o centro de estocagem de material. Sendo esse trajeto uma via eletrificada, esse exemplo de aplicação é citado no manual da eHighway como pode ser visto na figura 17 abaixo.

Figura 17 – Exemplo de uso para Mineração.



Fonte: Manual eHighway, Siemens, 2017.

E por fim, a aplicação no transporte de passageiros, algo abordado nesse trabalho, já ocorre no Brasil, com as linhas de trólebus. Porém pode-se melhorar a tecnologia, aplicando o pantógrafo ativo, semelhante ao da eHighway, trazendo melhoria de tecnologia já aplicada e aplicá-la no modal de ônibus rodoviário.

Figura 18 – Modelo de Trólebus da empresa Metra.



Fonte: Site da Metra

4. E-HIGHWAY NO BRASIL

Neste capítulo será abordado como pode-se ser implementado a eletro rodovia no estado de São Paulo, e será estimado os valores de redução de emissões, com base na quantidade de veículos que circula pelo trajeto escolhido para o projeto.

4.1. RODOVIA ANCHIETA

O trajeto escolhido para estudo nesse trabalho inclui a rodovia Anchieta, umas das rodovias mais importantes do Estado de São Paulo, que faz a ligação do centro da capital com a baixada santista.

Esse trajeto é de suma importância, devido ao fluxo de veículos de carga e de transporte de passageiros pela região, uma vez que veículos de carga não devem trafegar pela Rodovia dos Imigrantes.

Com base nos dados coletados diariamente circula pela Rodovia Anchieta uma média de 2741 veículos comerciais sentido Norte, e 1439 em sentido Sul.

Tabela 14 – Valor diário médio de tráfego (VDM)

Posto de coleta						VDM 2017			VDM 2018			VDM 2019			VDM 2020			
Posto	Concessionária	Rodovia	Denominação	Km	Praça de Pedágio	Sentido	Passeio	Comercial	Total	Passeio	Comercial	Total	Passeio	Comercial	Total	Passeio	Comercial	Total
753	Ecovias	SP 150	Rodovia Anchieta	31.106	Riacho Grande (sensor km 32)	Norte	4.673	4.197	8.870	6.528	3.367	9.895	6.669	3.435	10.104	5.701	2.741	8.442
753	Ecovias	SP 150	Rodovia Anchieta	31.106	Riacho Grande (pedágio)	Sul	5.371	5.421	10.792	8.147	4.789	12.936	8.140	4.760	12.900	12.022	1.439	13.461

Nota: Fonte ARTESP

Fonte: Artesp

A tabela 14 acima ressalta os dados já informados da circulação de veículos estima-se que 4180 veículos comerciais passem por dia na rodovia Anchieta. Porém para o projeto serão analisados os dados de 2019 para evitar-se desvios causados pela Pandemia do Coronavírus, nesse caso então, temos 3435 Norte e 4760 Sul, totalizando uma média de 8195 veículos diários no ano de 2019.

4.2. MODELO DE APLICAÇÃO NO BRASIL

No Brasil, ou melhor, no estado de São Paulo, a aplicação pensando para o projeto, é utilizarmos inicialmente o trajeto da Rodovia Anchieta, devido ao alto fluxo de veículos comerciais, como caminhões e ônibus, sendo um alto fluxo diário, devido ao mesmo ser o trecho de ligação ao Porto de Santos, e ao Litoral quando se fala de questões turísticas, relacionadas ao trajeto dos ônibus.

É claro que a aplicação pode-se estender a outros pontos do país ou estado ao longo do tempo, mas ela será um ótimo trajeto inicial para testes e análises, assim como foi feito na Europa, escolhendo-se um trajeto específico e fazendo o monitoramento durante um período de tempo.

A rodovia Anchieta possui extensão de 72km, e é uma das rodovias com maior fluxo de veículos do Brasil, fazendo a ligação direta entre a capital Paulista e Porto de Santos, e possui um fluxo intenso de veículos diariamente como podemos ver na figura 19 abaixo.

Figura 19 – Rodovia Anchieta



Fonte: Mobilidade Sampa

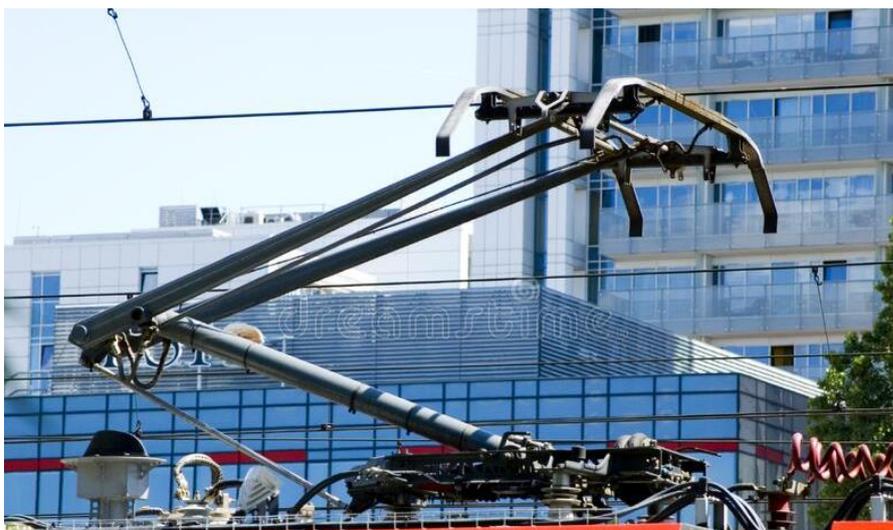
O modelo pensado teria como característica a implementação do pantógrafo em ônibus e caminhões híbridos/elétricos. Ao adentarem ao percurso, através de um sinal de sensor, semelhante ao usados em pedágio como o “Sem Parar”, iniciaria o contador de consumo interno no veículo, esse contador, irá medir o consumo elétrico do veículo durante o trajeto. Após o término do trajeto, novamente ele passará pelo sensor, que contabilizara o valor final, e emitira uma cobrança do trecho.

Para um protótipo inicial, pode utilizar a tecnologia aplicando-a a uma ou duas empresas parceiras que no período de testes e mapeamento, não seria cobrada pelo trajeto, e após os resultados, quando a tecnologia for disponibilizada para os veículos, é instalado um sensor de consumo.

A também a opção de nos primeiros anos, somente empresas que tenham vontade, aderirem ao projeto, não tornando-o nos primeiros anos obrigatórios. Isso servira de holofote para a tecnologia, uma vez que empresas que aderirem podem receber bonificações, e selos de comprometimento ambiental, assim como vemos com a empresa Metra, e sua responsabilidade ambiental no uso de veículos elétricos e trólebus.

Outra opção é também aproveitar uma tecnologia já desenvolvida, utilizando-se do pantógrafo ativo semelhante ao dos trens da CPTM, que se assemelha ao utilizado no projeto da eHighway. Abaixo na figura 20 pode-se ver o modelo de pantógrafo

Figura 20 – Pantógrafo utilizado nos trens da CPTM



Fonte: CPTM

4.3. ESTUDO ESTÁTISCO DO PROJETO

Para entender as vantagens é preciso primeiro entender os valores reais dentro do âmbito de aplicação. Para isso serão usados dados de 2019, uma vez que dados atuais possuem ainda influência da Pandemia do Coronavirus (Covid-19).

Os cálculos se iniciam, entendendo através das tabelas apresentadas nos capítulos anteriores que a frota total Brasileira é de 112.173.572 veículos, desses veículos, 21.8850,63 são os veículos Diesel no Brasil, o que equivale a 19,51% da Frota, como podemos ver no calcula da tabela 15 abaixo.

Tabela 15 – Cálculo da Frota Diesel Brasileira.

TOTAL BRASIL	112173572 uni	100%
TOTAL DIESEL	X	0,1951
	218850,639	uni.

Fonte: Autor

Agora sabe-se com o valor da frota diesel Brasileira, e a quantidade média de veículos diários na Rodovia Anchieta no ano de 2019. Pode-se fazer o cálculo de quanto essa quantidade de veículos diária equivale ao total da frota de veículos diesel Brasileira, apresentado na tabela 16 abaixo.

Tabela 16 – Frota Diária Anchieta x Total Brasil

TOTAL DIESEL BR	218850,639 uni	100%
TOTAL ANCHIETA	8195 uni	X
TOTAL	3,74%	

Fonte: Autor

Sabe-se agora que o valor diário médio de veículos diesel que circula pela Rodovia Anchieta é equivalente a 3,74% do total da Frota Diesel do Brasil, esse dado é de extrema importância para se ver a quantidade de veículos diários em apenas um trecho. Entende-se agora que de 100% dos veículos diesel no Brasil, 3,74% circulam diariamente pela Rodovia Anchieta, isso demonstra o tamanho da rodovia, e sua importância.

Agora somamos os poluentes por categoria, para termos o valor total em gramas de cada tipo de poluente par veículos Diesel. Nesse caso em 2019 têm-se os valores apresentados na tabela 17 abaixo, em grama por quilometro.

Tabela 17 – Total de Poluentes da Frota Diesel em 2019

	CO	HC	CH4	NOX	MP	N2O
TOTAL DE POLUENTES (2019)	1,638	0,104	0,48	11,093	0,092	0,24 g
Soma de emissões de todas as categorias por tipo de poluente						

Fonte: Autor.

Agora multiplica-se esse valor pela extensão da rodovia Anchieta, para que se tenha os valores dos agentes poluentes em gramas totais liberados por esses veículos durante o trajeto.

Pode-se ver abaixo também o valor considerando um trajeto de ida e volta, mas para os cálculos finais não consideraremos, devido a média incluir trecho norte e sul, equivalente a ida e volta.

Tabela 18 – Poluição Total x Poluição Anchieta

Extensão da Anchieta	72	Km					
	CO	HC	CH4	NOX	MP	N2O	
Emissões na Anchieta	117,936	7,488	34,56	798,696	6,624	17,28	g
Considerando Ida e Volta	235,872	14,976	69,12	1597,392	13,248	34,56	g

Fonte: Autor

Considerando o fluxo médio diário, somando trecho norte e sul, temos um total de 8195 veículos passando diariamente pela Anchieta. Multiplicamos esse valor pela quantidade gramas liberada pela extensão, e temos o valor diário de emissões no trecho.

Tabela 19 – Total diário de Emissões na Rodovia Anchieta

	CO	HC	CH4	NOX	MP	N2O	
Emissões por Fluxo Diário Médio	966485,52	61364,16	283219,2	6545314	54283,68	141609,6	g

Fonte: Autor

Agora multiplicando-se o valor acima por 255 dias uteis no ano de 2019. E temos o valor em grama emitidos durante o trecho da Anchieta durante todo o ano.

Tabela 20 – Total Anual de Emissões na Rodovia Anchieta

	CO	HC	CH4	NOX	MP	N2O	
Emissões em gramas para 2019	246453807,6	15647861	72220896	1,67E+09	13842338	36110448	g
	Considerando o Ano de 2019 - 255 dias Uteis						

Fonte: Autor

Com base no valor citado na tabela 19, sabe-se que somente para Material Particulado liberamos 13,84 toneladas de gramas por ano, para NOx temos 1,67 toneladas. E recapitulando as informações já apresentadas, cada agente poluente apresentado tem um efeito agravante no meio ambiente e no corpo humano. Usando como exemplo, o Material Particulado, partículas menores que 2,5 µm, atingem o pulmão e podem causar alergias, asma e bronquite, aumentando

as doenças pulmonares e cardíacas. Quanto ao NOx, como já vimos o mesmo debilita o sistema imunológico, aumentando a suscetibilidade a contaminações por vírus e bactérias.

Sabe-se que devido a Pandemia do Coronavirus (Covid-19), o número de internações e os óbitos por Crise Respiratória Aguda se desviram o valor real, mas ao se analisar os dados de 2019 antes da Pandemia, temos valores como 39.190 casos, e 4.939 óbitos.

Pode-se pensar que são valores pequenos, mas analisando a fundo são mais de 4.000 pessoas que tiveram doenças respiratórias, é claro que esse valor pode não estar relacionado diretamente a poluição, mas sabemos que doenças crônicas, podem e são agravadas devido aos índices de poluição. Mas não se pode falar somente de Doenças Pulmonares, como Bronquite, Asma, entre outras. Em 2019 o Instituto do Câncer estimou que 31.270 novos casos de Câncer relacionados as vias áreas, que estão ligados quase diretamente ao aumento dos níveis de poluição, uma vez que quanto maior os níveis de poluição, maior os níveis de doenças.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que durante o ano de 2019, considerando todos os poluentes citados nessa pesquisa, tem-se somados os valores da tabela de emissões nos dias uteis, um valor total de 2053,33 toneladas de agentes poluentes anualmente liberados em um único trajeto de 72 km.

Com a aplicação da eHighway, durante a utilização do motor elétrico no trajeto, seja o veículo híbrido ou totalmente elétrico, já se tem a redução desse valor em toneladas anualmente. Vale ressaltar que a pesquisa leva apenas em consideração os veículos diesel, nesse caso não acrescentamos os valores para veículos de passeio, que também emitem poluentes, e aumentariam ainda mais esse valor anual.

Como vimos no capítulo 2, na tabela 10 do trabalho. Um dos pontos mais importante é correlacionar os efeitos colaterais causados ao corpo humano e ao meio ambiente. Mesmo com valores de emissões baixos, ao considerarmos apenas veículos na fase proconve 7, ainda sim temos a liberação de mais de 2000 toneladas ano, em um trecho de apenas 72 km, sem levar em consideração outros estados, ou rodovias, ou veículos de passeio. Sabe-se que estudos recentes apontam aumentos nos números de doenças causadas pelas emissões, ou seja, mesmo com a diminuição de emissões, ainda temos o aumento dos efeitos colaterais.

A implementação do sistema eHighway em um trecho inicial como a Anchieta, servirá para estudo de caso, onde com a redução dos valores de agentes poluentes, pode-se observar a mudanças que ocorrerão no ambiente composto pelo trecho, e na qualidade do ar, e das comunidades em volta da rodovia. Esse estudo inicial poderá trazer resultados se a tecnologia é eficiente para combate a emissões, e viabilizar a possibilidade de implementação em outros trechos do país, até mesmo trechos com mais população em torno, o pode melhorar o estudo dos efeitos na população.

Para a aplicação, como citado prevê-se o uso de medidor de consumo de energia, para calcular o uso de energia durante o trajeto. Aliado a isso pode-se também aplicar políticas públicas para incentivo ao consumo de veículos elétricos e híbridos, assim como ter empresas parceiras no início da aplicação, que servirão de auxílio para monitorar a eficiência da eHighway. Essas empresas serão pioneiras durante a aplicação, e podem receber algum incentivo. A tecnologia como já visto no decorrer do estudo pode ser

derivada do estudo dos trólebus e do sistema de energização dos trens da CPTM, facilitando assim uma possível implementação.

Para concluir pode-se relembrar a necessidade da mudança de modal, onde países europeus já preveem o fim do comércio de veículos a combustão até 2035, sendo o Brasil um dos países que ainda não se pronunciou sobre esse tópico. A aplicação da eHighway é importante para incentivar a inovação tecnológica, e o consumo de veículos elétricos, e equiparar o Brasil a outros países que já estão avançados nessa área. E por fim, incentivar a redução de emissões, a aplicação de estudo é inicial, mas se aplicarmos a tecnologia em outras rodovias, podemos diminuir ainda mais os níveis de agentes poluentes, ajudando o meio ambiente e reduzindo doenças a população.

Esse trabalho fica como pesquisa tecnológica para futuros estudos da aplicação, assim como acervo técnico para estudos sobre meio ambiente, e tecnologia híbrida e elétrica.

6. PROPOSTAS FUTURAS

Como propostas futuras para o projeto fica-se os tópicos abaixo, que ao serem estudados e acrescentados a esse trabalho pode-se aumentar os dados de pesquisa para aplicação das estradas eletrificadas no Brasil.

- A. Calculo de consumo de Energia dos veículos de carga elétricos, e do consumo e geração de energia com a implementação
- B. Implementação do custo do quilômetro da estrada eletrificada
- C. Emissões geradas pelas hidroelétricas
- D. Impletação e atualização do sistema trolebus usando o pantógrafo da CPTM.
- E. Aplicação de fontes renovaveis como energia solar para geração de energia para a estrada eletrificada.

7. BIBLIOGRAFIA

FGV Energia. Carros Elétricos. Rio de Janeiro. Ano 4, N°7. 2017.

eHighway, Innovative electric road freight transport. Munich: Siemens. 2017.

Plano de Controle de Poluição Veicular 2020-2022. Governo do Estado de São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2021/01/PCPV-Plano-de-Controle-de-Poluicao-Veicular-do-Estado-de-Sao-Paulo-2020-2022.pdf>>

Dados de Frota de Veículos. Denatran, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2022>>

Dados de Poluição. Cetesb, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>>

Carro Elétrico no Brasil, 2021. Disponível em: < <https://younder.com.br/blog/carro-eletrico-no-brasil/>>

Frota de Veículos Elétricos, 2022. Disponível em: < <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico>>

Rendimento dos motores, 2022. Disponível em: <https://pt.frwiki.wiki/wiki/Rendement_d%27un_moteur_%C3%A0_explosion#:~:text=Rendimento%20m%C3%A1ximo%20melhor%20efici%C3%Aancia&text=Seu%20rendimento%20%C3%A9%20pr%C3%B3ximo%20a,de%20impulso%20de%20v%C3%A1rias%20barras.>

O preço da Poluição. Saldiva, Paulo. 2007. Disponível em: <<https://www.usp.br/espacoaberto/arquivo/2007/espaco83set/0capa1.htm>>

Dados de Meio Ambiente e Emissões, 2022. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/LIVROPROCONVEDIGITAL.pdf>>

Idade média da frota de veículos cresce mais uma vez no Brasil. Revista “O Mecânico”, 2022. Disponível em: <<https://omecanico.com.br/idade-media-da-frota-de-veiculos-cresce-mais-uma-vez-no-brasil/#images-2>>

Euro 6 – P8 é definido pelo Conama para 2022-23, Automotive Business 2018. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/euro-6-p8-e-definido-pelo-conama-para-2022-23/>>

Programa de Controle de Emissões Veiculares, IBAMA 2022. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Conama%20490%2C%20de%2016,rodovi%C3%A1rio%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A1ncias>>

Poluição dos Veículos mata uma pessoa por dia em Belo Horizonte. Abes, 2022. Disponível em: <<http://www.abes-mg.org.br/visualizacao-de-clipping/ler/1027/poluicao-dos-veiculos-mata-uma-pessoa-por-dia-em-bh>>

Acidente na Rodovia Anchieta. Mobilidade Sampa, 2022. Disponível em: <<https://mobilidadesampa.com.br/2022/05/rodovia-anchieta-cubatao-colisao-carreta-caminhao/>>

Veículos BYD. Disponível em: <<https://www.byd.com.br/wp-content/uploads/2022/07/Folder-et7-et18-2022-compactado.pdf>>

E-Delivery Volkswagen. Disponível em: <<https://www.vwco.com.br/caminhoes/e-Delivery/e-Delivery%2014?id=27&productid=185>>

Trens CPTM. Governo do Estado de São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www.cptm.sp.gov.br/Pages/Home.aspx>>