

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E
AMBIENTAIS**

SERGIO TADEU ALBARDEIRO

**O PAPEL DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA NO TRANSPORTE COLETIVO
MUNICIPAL E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL REGIONAL**

**Sorocaba/SP
2020**

Sergio Tadeu Albardeiro

**O PAPEL DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA NO TRANSPORTE COLETIVO
MUNICIPAL E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL REGIONAL**

Dissertação Apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves

**Sorocaba/SP
2020**

Ficha Catalográfica

A288p Albardeiro, Sergio Tadeu
O papel dos ônibus elétricos a bateria no transporte coletivo municipal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável / Sergio Tadeu Albardeiro. — 2020.
161 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) – Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2020.

1. Transporte público – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Veículos elétricos. 4. Ônibus – Inovações tecnológicas. 5. Ar - Poluição. I. Gonçalves, Daniel Bertoli, orient. II. Universidade de Sorocaba. III. Título.

Sergio Tadeu Albardeiro

**O PAPEL DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA NO TRANSPORTE COLETIVO
MUNICIPAL E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL REGIONAL.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 04/02/2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves
Universidade de Sorocaba

Prof.(a) José Luiz Antunes de Almeida
Fatec - Sorocaba

Prof.(a) Henrique Kull Neto
Instituto Federal de São Paulo - Campus Boituva

Dedico este trabalho de Pós-Graduação e meu título de Mestre a minha esposa Professora Maria Angélica B. Q. Albardeiro e aos meus filhos: Vinicius Brandão Albardeiro, Phelipe Brandão Albardeiro e Daniel Brandão Albardeiro, minha família que me motiva a acreditar nessas empreitadas de aprimoramento de saberes.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a DEUS pela vida, saúde, oportunidade e capacidade que me dá para ter obtido sempre sucesso na carreira profissional e procuro retribuir de forma justa sendo ético, respeitando todo ser humano e buscando ser uma referência para o amadurecimento dos meus filhos;

Aos meus pais, sobretudo a minha mãe (in memoriam) pelo seu caráter, persistência e batalhadora incansável, que possibilitou a nossa criação, apesar de todas as dificuldades surgidas;

À minha Esposa por compartilharmos nossas experiências de vida e de educação na criação dos nossos filhos, possibilitando a eles os caminhos do sucesso como seres humanos e pessoas dignas;

Ao Orientador Professor Dr. Daniel Bertoli Gonçalves, pela sua disponibilidade de tempo e experiência em pesquisa, auxiliando-me na conquista desse desafio tão desejado e necessário para continuidade de minha carreira profissional acadêmica;

Aos Professores da UNISO, que de certa forma, transmitiram conceitos de sustentabilidade e de matrizes energéticas, aumentando com isso o meu conhecimento e, sobretudo, minha conscientização sobre um tema muito relevante para a humanidade, e, em forma de agradecimento especial, a Professora Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida, sempre pronta e disposta e que me auxiliou na organização dos tópicos e, ainda, nas dificuldades de uso das ferramentas da informática para configuração deste trabalho;

Aos colegas, professores do IFSP, que serviram de referência como importância no crescimento acadêmico e na busca de aprimoramento dos meus saberes;

Às Empresas que abriram suas portas para visitas e aos seus representantes, que me atenderam com muita presteza, possibilitando com isso a busca de informações que enriqueceram de forma significativa o meu trabalho de dissertação;

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

“Ao envelhecer parei de escutar o que as
pessoas dizem. Agora só presto atenção
no que elas fazem.”

(Andrew Carnegie)

RESUMO

Entre os diversos problemas ambientais, vivenciados atualmente nos municípios, o transporte coletivo tem sido alvo de discussões devido ao combustível predominante, o diesel, que além de escasso e finito, contribui para a poluição atmosférica e agravamentos na saúde da população. Nesse contexto, foi objetivo deste trabalho estudar os aspectos técnicos e econômicos da substituição de ônibus movidos a diesel por ônibus elétricos a bateria no transporte coletivo municipal, no contexto do desenvolvimento sustentável. Para isso, a pesquisa envolveu o levantamento de informações bibliográficas, técnicas e documentais, visita a empresas fabricantes de ônibus elétricos a bateria, e à Secretaria de Transportes – EMDEC. A análise comparativa envolveu informações de projetos já implantados em Istambul, na Califórnia, em São Paulo e em Campinas. Os resultados apontaram que além das vantagens ambientais de não emitirem gases poluentes, os ônibus elétricos a bateria apresentam um tempo de vida duas vezes maior que os movidos a diesel. Por outro lado, apresentam custos de aquisição maiores, compensados por custos operacionais e de manutenção menores, cujo ponto de equilíbrio ocorre entre 8 e 10 anos, a partir do qual os ônibus elétricos tornam-se mais vantajosos. De modo a contribuir com a disseminação dessa tecnologia para outros municípios, o estudo ressalta a importância da inclusão de metas para a redução das emissões atmosféricas na legislação ambiental municipal, e da necessidade de considerar as especificações técnicas desses veículos nos editais de licitação, com atenção na ampliação do prazo de substituições desse tipo de veículo, além da opção pelo “leasing” das baterias, do “retrofit” dos veículos, e do investimento em geração distribuída com foco nas células fotovoltaicas, possibilitando uma rede de parcerias entre poder público, empresa/concessionária de ônibus, fabricantes de veículos/baterias e concessionárias de energia.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Geração distribuída. Ônibus elétricos a bateria. Poluição atmosférica. Transporte coletivo.

ABSTRACT

Among the various environmental problems currently experienced in the municipalities, public transport has been the subject of discussion due to the predominant energy matrix, diesel, which, besides being scarce and finite, contributes to atmospheric pollution and worsening the population's health. In this context, the objective of this work was to study the technical and economic aspects of replacing diesel-powered buses with battery-powered electric buses in municipal public transport, in the context of sustainable development. For this, the research involved the gathering of bibliographical, technical and documentary information, visits to companies that manufacture electric battery buses, and the Department of Transportation - EMDEC. The comparative analysis involved information from projects already implemented in Istanbul, California, São Paulo and Campinas. The results showed that in addition to the environmental advantages of not emitting pollutant gases, battery-powered electric buses have a life time twice as long as those powered by diesel. On the other hand, they have higher acquisition costs, offset by lower operating and maintenance costs, whose break-even occurs between 8 and 10 years, from which the electric ones become more advantageous. In order to contribute to the dissemination of this technology to other municipalities, the study stresses the importance of including targets for the reduction of atmospheric emissions in municipal environmental legislation, and the need to consider the technical specifications of these vehicles in bidding documents, carefully. extending the term of replacement of this type of vehicle, in addition to the option of battery leasing, retrofitting of vehicles, and investment in distributed generation focusing on photovoltaic cells, enabling a network of partnerships between government, bus company / concessionaire , vehicle / battery manufacturers and power utilities.

Keywords: Atmospheric pollution. Battery-powered electric buses. Distributed generation. Public transportation. Sustainable development.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População Urbana no Brasil.....	22
Tabela 2 - Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2015	25
Tabela 3 - Estimativa de emissão das fontes de poluição na RMSP	28
Tabela 4 - Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP	29
Tabela 5 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera..	31
Tabela 6 - Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde	32
Tabela 7 - Características determinantes das tecnologias veiculares.....	46
Tabela 8 - Dificuldades associadas às tecnologias de propulsão	47
Tabela 9 - Características determinantes das tecnologias veiculares.....	62
Tabela 10 - Dificuldades associadas às tecnologias de propulsão	63
Tabela 11 - Ônibus elétrico a bateria e suas categorias	66
Tabela 12 - Custos do ônibus elétrico a bateria - modelo K9W - BYD	70
Tabela 13 - Oferta Interna de Energia (OIE) – (ktep)	76
Tabela 14 - Oferta Interna de energia Elétrica (OIEE)	77
Tabela 15 - Especificações Técnicas dos Ônibus Diesel e Elétrico a Bateria	88
Tabela 16 - Preços unitários para ônibus Diesel e Elétrico a Bateria.....	90
Tabela 17 - Valores de desempenho para ônibus diesel e elétrico a bateria	90
Tabela 18 - Análise dos custos de M&O de ônibus diesel e elétrico a bateria	95
Tabela 19 - Estimativa de preço unitário de diesel e eletricidade (2017-2026)	98
Tabela 20 - Componentes de custo total de propriedade - TCO.....	120
Tabela 21 - Valores estimados dos componentes do TCO de um ônibus padron...	121
Tabela 22 - Custos para diferentes tecnologias – Estudos do Greenpeace.....	127
Tabela 23 - Autonomia dos ônibus elétricos a bateria – estudos da SPTrans	127
Tabela 24 - Testes da Ambiental e da Gato Preto em São Paulo - SP	128
Tabela 25 - Consumo de energia ou combustível por km por tecnologia - ABVE ...	128
Tabela 26 - Custos por tecnologia em R\$/km - ABVE.....	129
Tabela 27 - Corte de emissões: ônibus do Sistema Estrutural.....	131
Tabela 28 - Corte de emissões: Sistema de Articulação Regional de São Paulo ...	132
Tabela 29 - Corte de emissões: sistema Local.....	133
Tabela 30 - Características técnicas do ônibus padron modelo D9W (CAIO/BYD).	137
Tabela 31 - Outros custos relacionados aos ônibus elétricos a bateria do município de Campinas-SP	140
Tabela 32 - Parâmetros e custos de Istambul, Califórnia, Municípios de SP e Campinas - (moeda local)	147
Tabela 33 - Parâmetros e custos: Istambul, Califórnia, Municípios de SP e Campinas (Dólares Americanos).....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região Metropolitana de São Paulo – RMSP	24
Figura 2 - Frota de Ônibus do Município de SP	26
Figura 3 - Fumaça preta liberada por ônibus escolar na Califórnia	27
Figura 4 - Benefícios e Custos cumulativos da norma P-8 (2018 -2048)	37
Figura 5 - Metas e reduções de emissões estimadas em acordo com a Lei 16.802/18	40
Figura 6 - Catalisador de Redução Seletiva - SCR	43
Figura 7 - Diferenças de produção de açúcar, etanol e diesel	46
Figura 8 – Esboço do chassi do Ônibus movido a Hidrogênio	50
Figura 9 - Fluxograma de processo na produção do Hidrogênio.....	51
Figura 10 - Ônibus elétrico a bateria no município de São Paulo – modelo D9W - BYD.....	53
Figura 11 - Chassis do ônibus elétrico a bateria e os aspectos relevantes dessa tecnologia.....	54
Figura 12 - Parte interna do ônibus elétrico a bateria, destaque do painel e volante	55
Figura 13 - Espaço interno de um ônibus elétrico a bateria da BYD – modelo D9W	56
Figura 14 - Espaço do conjunto de baterias e circuitos eletrônicos, instaladas em ônibus elétrico - modelo D9W - BYD.....	57
Figura 15 - Diagrama de blocos de funcionamento de um veículo elétrico	58
Figura 16 - Chassi do Ônibus Híbrido Diesel - Elétrico	60
Figura 17 - Partes do Ônibus Híbrido.....	60
Figura 18 - Financiamento tipo FINAME do BNDES	71
Figura 19 - Instalação de módulo fotovoltaico em telhado, responsável por captar a energia solar.....	75
Figura 20 - Recarga por energia solar - ônibus elétrico a bateria - Santa Catarina - UFSC	84
Figura 21 - Placa de energia solar em ponto de ônibus no município de Campinas.	84
Figura 22 - Fluxograma do modelo de compra e operação de ônibus de emissão zero	86
Figura 23 - Rotas das linhas 28T e 55T - Istambul.....	89
Figura 24 - Distância percorrida por ônibus a diesel versus ônibus elétrico a bateria.	109
Figura 25 - Ônibus a bateria da empresa Proterra, utilizado para transporte escolar na Califórnia - EUA.....	118
Figura 26 - Ônibus elétrico a bateria BYD D9W no município de São Paulo	134
Figura 27 - Ônibus Elétrico a bateria no município de Campinas– modelo K9W – BYD.....	136

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Emissões relativas por tipo de fonte	30
Gráfico 2 - Estimativas da frota de veículos a diesel por fase - PROCONVE	34
Gráfico 3 - Frota de ônibus municipal por tipo de ônibus e nível de controle de emissões	35
Gráfico 4 - Prazo para implementação de normas nacionais de emissões	36
Gráfico 5 - Mudanças projetadas na composição da Frota x Emissões (MP; NOx e CO2).....	41
Gráfico 6 - Oferta Interna de Energia no Brasil- 2018 (%).....	76
Gráfico 7 - Oferta Interna de Energia Elétrica - 2018 (%).....	78
Gráfico 8 - Evolução dos preços dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.....	79
Gráfico 9 - Preço médio dos Módulos Fotovoltaicos	80
Gráfico 10 - Preço dos kits fotovoltaicos	80
Gráfico 11 - Preços dos sistemas fotovoltaicos.....	81
Gráfico 12 - Valores médios de desempenho para ônibus Diesel.....	91
Gráfico 13 - Valores médios de desempenho para ônibus elétrico a bateria	92
Gráfico 14 - Custo do consumo de energia por 100 km - ônibus Elétrico a bateria e Diesel	93
Gráfico 15 - Análise dos custos de M&O das tecnologias diesel e elétrico a bateria	95
Gráfico 16 - Estimativa de preços unitários do diesel e da eletricidade	99
Gráfico 17 - Comparação dos conceitos de ônibus, custos de aquisição	100
Gráfico 18 - Comparação dos conceitos de ônibus elétrico e diesel, conforme custos totais de operação (Euros) - anual	101
Gráfico 19 - Custo total em 10 anos (aquisição e operação) das tecnologias diesel e elétrico a bateria.....	102
Gráfico 20 - TCO e média de percurso por veículo (km-dia) - 10 anos.	103
Gráfico 21 - Porcentagem ativa de ônibus em trânsito e tipos de tecnologia.....	108
Gráfico 22 - Custos estimados de operação anual - por tecnologia.....	110
Gráfico 23 - Custos no tempo de vida: aquisição, operação, receita de energia e infraestrutura de recarga.	111
Gráfico 24 - Custos estimado de combustível e manutenção, na vida útil, por tecnologia.....	113
Gráfico 25 - TCO - Custo Total de Propriedade	114
Gráfico 26 – Custos operacionais, poupança e financiamento por “leasing” (locação)	117
Gráfico 27 - Estimativas de TCO por tecnologia - 10 anos	122
Gráfico 28 - Composição dos custos: Aquisição e Infraestrutura - 10 anos.	123
Gráfico 29 - Composição de custos: aquisição e infraestrutura - Diesel e Elétrico	124
Gráfico 30 - Composição dos custos: Operação e Manutenção - 10 anos	125
Gráfico 31 - Composição de custos de Operação - Diesel e Elétrico a Bateria.....	125
Gráfico 32 - Composição de custos de Manutenção - Diesel e Elétrico a Bateria... ..	126
Gráfico 33 - Custos de TCO: Istambul; Califórnia; Município de SP e de Campinas	148
Gráfico 34 - Custos de Aquisição: Istambul; Califórnia; Município de SP e de Campinas	149
Gráfico 35 - Custos de Combustível: Istambul; Município de SP e de Campinas ...	150
Gráfico 36 - Custos de Manutenção: Istambul; Município de SP e de Campinas ...	151

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ABD	Santo André, São Bernardo e Diadema
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ARLA	Agente Redutor Líquido de Óxido de Nitrogênio Automotivo
BEST	Etanol para o Transporte Sustentável
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNEF	Bloomberg Novo Financiamento Energético
BRT	Transporte Rápido por Ônibus
BYD	Build Your Dream
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CRFI	Injeção Comum de Combustível
DOC	Catalizadores de Oxidação Diesel
DPF	Filtro de Partículas Diesel
EDISON	Projeto para Desenvolvimento de Soluções e Tecnologias para Ônibus Elétrico a Bateria
EEE	Espaço Econômico Europeu
EGR	Recirculação do Gás de Escape
ELIPTIC	Eletrificação de Transporte Público na Europa
EMDEC	Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas S/A
EMTU/SP S/A	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
EMTU/SP	Empresa Municipal de Transportes Urbanos
FINAME	Agência Especial de Financiamento Industrial
FTF	Filtro de Fluxo
GEE	Gás de Efeito Estufa
GEF	Instalação Ambiental Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICCT	International Council on Clean Transportation
IEA	Agência Internacional de Energia
IETT	Eletricidade de Istambul, Tramway e Gestão Geral de Túneis
METRO	Companhia do Metropolitano de São Paulo
MP	Material Particulado
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OBD	Diagnóstico de Bordo
ONG	Organização Não Governamental
P	População de Istambul
PB	Período de Retorno
PIB	Produto Interno Bruto
PPI	Índice de Preços ao Produtor
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares
RATP	Operador Autônomo de Transportes Parisienses
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCR	Redutor Catalítico Seletivo
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SPTTrans	São Paulo Transportes S/A
TCO	Custo Total de Propriedade
TIR	Taxa Interna de Retorno
UE	União Europeia
UNFPA	Fundo de População das Nações Unidas
UN-HABIT	Programa das Nações Unidas para o Assentamento Humano
VPL	Valor Presente Líquido
ZEBusPOM	Modelo de Compra e Operação de Ônibus de Emissão Zero
ZeEUS	Sistema de Ônibus Urbano de Emissão Zero

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	METODOLOGIA.....	19
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
4.1	O crescimento populacional e o desafio do transporte coletivo.....	21
4.1.1	Cidades.....	22
4.1.2	Transporte público	23
4.2	Poluição relacionada ao transporte público:	27
4.2.1	Origens das fontes de poluição	27
4.2.2	Efeitos à saúde e ao meio ambiente, decorrentes da poluição do ar	30
4.2.3	Evolução das normas Euro em relação as normas do PROCONVE - Brasil 33	
4.2.4	Política de Mudança do Clima do Município de São Paulo – Lei 16802/18 38	
4.3	Tecnologias dos ônibus.....	42
4.3.1	Diesel	42
4.3.2	Biodiesel.....	44
4.3.3	Diesel de cana de açúcar	45
4.4	Tecnologias de ônibus testadas no Brasil	47
4.4.1	Etanol.....	47
4.4.2	Hidrogênio.....	48
4.4.3	Trólebus.....	51
4.4.4	Elétrico a Bateria	52
4.4.5	Híbrido	58
4.4.6	Gás Natural.....	62
4.5	Desafios à expansão das frotas de ônibus elétricos a bateria	64
4.5.1	Perspectivas mundiais aos ônibus Elétricos a Bateria	64
4.5.2	Perspectivas para o Brasil aos ônibus Elétricos a Bateria.....	65
4.5.3	Custos do ônibus Elétrico a Bateria	69
4.5.4	Aquisição dos ônibus Elétricos a Bateria por Financiamento	70
4.6	Rota 2030 - incentivo na produção de veículos elétricos a bateria.....	71
4.7	Baterias para ônibus elétricos – Produção nacional e parcerias	73
4.8	Energia renovável.....	75
5	PROJETOS DE IMPLANTAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA	86
5.1	No contexto mundial – Istambul - Turquia.....	86
5.1.1	Análise econômica dos conceitos de ônibus:	93
5.1.2	Resultados e discussões do modelo de Istambul	105
5.2	No contexto mundial - EUA – Califórnia	106
5.2.1	Financiamento e Leasing para aquisição de ônibus elétrico a bateria..	116
5.2.2	Resultados e discussões do modelo da Califórnia	118
5.3	No contexto do Brasil – São Paulo-SP.....	120

5.3.1 Resultados e discussões do modelo de São Paulo-SP.....	134
5.4 No contexto do Brasil - Campinas-SP.....	136
5.4.1 Resultados e discussões do modelo de Campinas-SP.....	141
6 ANÁLISE COMPARATIVA E PROPOSTAS.....	143
6.1 Parâmetros e custos de Istambul.....	144
6.2 Parâmetros e custos da Califórnia.....	145
6.3 Parâmetros e custos de São Paulo-SP.....	146
6.4 Parâmetros e custos de Campinas-SP.....	146
6.5 Análise comparativa.....	147
6.6 Propostas.....	152
7 CONCLUSÃO.....	154
REFERÊNCIAS.....	157

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos problemas ambientais, vivenciados atualmente nos municípios, o transporte coletivo tem sido alvo de discussões devido ao combustível predominante, o diesel, que além de escasso e finito, contribui para a poluição atmosférica e agravamentos na saúde da população. Nesse contexto, foi objetivo deste trabalho estudar os aspectos técnicos e econômicos da substituição de ônibus movidos a diesel por ônibus elétricos a bateria no transporte coletivo municipal, com o objetivo de subsidiar ações e políticas públicas direcionadas a reduzir a carga de emissões atmosféricas envolvidas no atual sistema de transporte coletivo predominante na maior parte dos municípios brasileiros.

O estudo buscou evidenciar as principais tecnologias de tração/motorização empregadas atualmente nos ônibus, tais como diesel, biodiesel, hidrogênio, etanol, híbrido-elétrico, trólebus, com destaque para a tecnologia dos ônibus elétricos a bateria (plug-in) no contexto nacional e internacional, detalhando os casos de Istambul - Turquia, Califórnia - EUA, e dois casos brasileiros, nos municípios de São Paulo-SP e Campinas-SP, ambos identificados na literatura.

Após a contextualização dos casos, o estudo avança para uma comparação técnico-econômica, considerando as diversas variáveis evidenciadas, objetivando o levantamento de custos nos aspectos mais significativos, tais como: Custo Total de Propriedade (TCO), que envolvem os custos de: aquisição, de infraestrutura, de manutenção e de operação, no âmbito da comparação com a tecnologia diesel.

Em complemento a estes dados, foram obtidas demais informações técnicas junto a duas empresas fabricantes de veículos elétricos a bateria, e uma Secretaria Municipal de Transportes, além de informações bibliográficas e documentais de modo a apontar as premissas para um projeto de implantação desse tipo de tecnologia de transporte para os municípios, enquanto produto final desta pesquisa.

O estudo destaca ainda, aspectos dos níveis de poluição do ar, decorrentes das tecnologias dos ônibus de transporte público movidos a combustível fóssil, bem como os efeitos nocivos dessa poluição, sobretudo ao meio ambiente e à saúde das pessoas, de modo a justificar a importância de ações no sentido da diminuição das emissões de gases poluentes na atmosfera, sobretudo em áreas municipais.

Este trabalho está estruturado em seções, incluindo esta introdução; a definição dos objetivos; a descrição da metodologia; uma revisão teórica; na seção 4, a respeito

da problemática que envolve o transporte coletivo de passageiros nas cidades, as principais tecnologias de motorização de ônibus; os desafios tecnológicos à expansão das frotas de ônibus elétricos à bateria (plug-in); legislação e a questão da energia solar, enquanto alternativa para o carregamento das baterias.

Na seção 5, o trabalho apresenta os quatro estudos de caso de implantação de ônibus elétricos à bateria identificados, discutindo os aspectos técnicos e econômicos de cada projeto, e finalmente a seção 6 detalha os elementos necessários para projetos de implantação desta tecnologia de transporte para os municípios, seguida da conclusão do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar os aspectos técnicos e econômicos da substituição de ônibus movidos à diesel por ônibus elétricos a bateria no transporte coletivo municipal, no contexto do desenvolvimento sustentável.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar informações bibliográficas e documentais a respeito das tecnologias de ônibus utilizados para transporte coletivo municipal.
- Levantar informações técnicas junto a empresas fabricantes de veículos, e sistemas energéticos de suporte.
- Levantar dados e informações técnicas sobre projetos de utilização dos ônibus das tecnologias diesel e elétrico a bateria, em nível internacional e nacional.
- Reunir informações que possam auxiliar projetos de implantação de sistemas de transportes municipais por ônibus elétricos a bateria, enquanto produto desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi delineado no sentido de se reunir informações técnicas relevantes a respeito do emprego de ônibus elétricos a bateria (plug-in) no transporte público municipal, a partir da identificação de quatro casos reais de implantação desta tecnologia relatados na literatura, sendo dois nacionais e dois internacionais, selecionados em função de sua representatividade e qualidade dos dados.

Para isso, a pesquisa envolveu o levantamento de informações bibliográficas e documentais, utilizando buscas na internet, em sites de notícias, empresas fabricantes, prefeituras e secretárias de transporte, além da base de dados Web of Science, Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES/MEC, bem como de informações técnicas junto a empresas, prefeituras, por meio de contatos telefônicos, e-mails, visitas in loco, e entrevistas, no período de agosto de 2018 a outubro de 2019.

O tratamento de dados deu-se mediante uma análise comparativa dos custos entre as tecnologias diesel e elétrica a bateria, que envolveu os parâmetros: custo total de propriedade (TCO), que inclui os custos de: aquisição, infraestrutura, manutenção e operação.

Na questão específica da operação, no que se refere ao custo por quilômetro rodado, foram tomadas como base a quantidade média de energia e combustível consumidos a cada quilometro; o custo do combustível adotado no cálculo tarifário do município em questão e o custo da energia elétrica praticado. Foram incluídas ainda as questões técnicas, relativas a cada tipo de tecnologia de veículo.

Segundo dados da figura 4.1, em EMTU/SP (2014, p.37), no que se refere a estimativa de custos para um período de 10 anos, das várias tecnologias de ônibus para o município de São Paulo, constatou-se que: os dados estatísticos não estavam compatíveis com os parâmetros e as estimativas de Istambul e da Califórnia, no que se refere a custos e no contexto da viabilização da implantação de ônibus elétrico a bateria (plug-in). À partir desta constatação foi feito contato, por e-mail, no dia 16/06/2019, com o superintendente da ANTP, questionando esses dados e contextualizando essa pesquisa. Em resposta informou-se sobre fontes de pesquisas mais atualizadas e indicou-se a ICCT (The Internacional Council on Clean Transportacion) - (O Conselho Internacional de Transportes Limpos), onde foi possível fazer a pesquisa, relacionada às metas de redução de poluição pelos ônibus, nesse município, conforme preconizado pela lei ambiental 16802/18, possibilitando a

obtenção dos dados possíveis para comparação com o projeto de Istambul e da Califórnia.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 O crescimento populacional e o desafio do transporte coletivo

A grande questão, da mobilidade da população, quer sejam em curtos ou longos espaços aliada a urbanização crescente, relaciona-se ao uso do transporte público urbano e nos problemas causados pela tecnologia tradicional dos ônibus à diesel e pelos efeitos poluidores decorrentes, que de acordo com dados do UNFPA, (2007, on-line) e da UN-HABITAT (2016, on-line), "as cidades são responsáveis por mais de 70% das emissões globais de CO₂, e há expectativa de expansão ainda maior das aglomerações urbanas nos próximos 25 anos, chegando a 66% na metade do século."

Em face das tendências de crescimento populacional, sobretudo nas regiões urbanas, a demanda por transporte cresce proporcionalmente, propiciando com isso o atendimento das novas necessidades emergentes de deslocamento. Contudo, decorrem dessa tendência, maiores danos ao meio ambiente, sobretudo na questão da poluição do ar.

Um dos maiores desafios da atualidade é, sem dúvida, a poluição ambiental, decorrente do transporte público, sobretudo das tecnologias que utilizam os combustíveis fósseis e com tendências de aumento, promovida pelas aglomerações urbanas.

A população mundial vem crescendo significativamente nos últimos anos, que segundo levantamentos, "revela que a população global é de 7,6 bilhões de habitantes e deve subir para mais de 8,6 bilhões em 2030." (ONU, 2017, on-line).

Com as projeções de crescimento populacional, é notória a preocupação de empresas e organizações voltadas à sustentabilidade para com os recursos advindos do ambiente pois, com o aumento do número de pessoas, aumentam também as limitações dos recursos oferecidos pelo nosso planeta, devido ao consumo excessivo e utilização descontrolada dos recursos fósseis, não renováveis.

Destaca-se, segundo BRASIL. IBGE (2010, on-line), "nas cinco regiões do Brasil, a proporção da população residente em áreas urbanas segue a mesma tendência, na comparação da população em 2000 e 2010".

Tabela 1 - População Urbana no Brasil

	População em 2000	População em 2010	Crescimento (%) 2000-2010
Brasil	169.799.170	190.732.694	12,33
Região Norte	12.900.704	15.865.678	22,98
Região Nordeste	47.741.711	53.078.137	11,18
Região Sudeste	72.412.411	80.353.724	10,97
São Paulo	37.032.403	41.252.160	11,39
Região Sul	25.107.616	27.384.815	9,07
Região Centro-Oeste	11.636.728	14.050.340	20,74

Elaborado pelo Autor, com dados da Fonte:BRASIL. IBGE (2010 on-line).

Na tabela 1, nota-se que: em 2010, comparado a 2000, houve um crescimento de 12,33% da população urbana no Brasil, com um aumento significativo de 20.933.524 pessoas, com demandas de crescimento destacáveis para as regiões Norte, 22,98%, e região Centro-Oeste, com 20,74%. Segundo BRASIL. IBGE (2010, on-line), “Dados revelam que a população urbana é de 84,4% e a rural de 15,6%.” (BRASIL. IBGE, 2010, on-line).

Essa demanda ocorre sobretudo nas regiões de maior desenvolvimento tecnológico e centros geradores de mão de obra, nos vários segmentos da nossa economia. Esse crescimento populacional, em centros urbanos, propicia uma aglomeração fora de controle e a partir desse contexto são necessárias providências urgentes para amenização dos efeitos produzidos pela poluição.

4.1.1 Cidades

As cidades são os grandes absorvedores desse crescimento populacional, e, sem a devida interferência dos órgãos públicos tornam-se, de certa forma, inabitáveis do ponto de vista da sustentabilidade.

Há que se notar os grandes males causados pelos efeitos da poluição, vindo sobretudo dos meios de transporte, que hoje se apresentam com suas matrizes energéticas derivadas dos combustíveis fósseis. São cidades mal planejadas com indústrias em locais distantes da moradia de seus colaboradores.

No que se refere a questão do planejamento das cidades e da sustentabilidade, tem-se que:

Nos últimos anos, o “Urbanismo Sustentável” vem se desenhando em pesquisas e experimentações realizadas por teóricos e profissionais de diferentes campos do conhecimento, articulando um diálogo entre as ciências naturais e sociais com as artes e humanidades (FARIAS FILHO; MACHADO, 2015, p. 3).

No que se refere às cidades, na questão das energias renováveis e quanto aos aspectos das matrizes energéticas, aponta:

O espaço não apareceria mais como o principal veículo para a ação sobre a cidade, uma vez que muitas das ações propostas são de ordem imaterial e lidam com as práticas diárias, como o consumo. Mais importante seria a racionalização da gestão dos recursos naturais, em especial a análise da totalidade do ciclo de vida dos materiais, o desenvolvimento de matérias-primas e energias renováveis, e a redução da quantidade de materiais e energia utilizados (FARIAS FILHO; MACHADO, 2015, p. 9).

Dentre os Estados da nossa federação, há que se destacar o de São Paulo, pela sua pujança e enorme desenvolvimento, características essas que trouxeram ao estado muitos problemas decorrentes desse desenvolvimento ao longo de sua história, sobretudo nas questões das aglomerações urbanas e da poluição do ar.

Segundo dados do BRASIL. IBGE (2010, on-line), as suas características básicas são: “é a unidade da federação de maior ocupação territorial, maior contingente populacional, em torno de 41,3 milhões de habitantes, e que possui a maior frota automotiva de 29.057.749 veículos.” (BRASIL. IBGE, 2010, on-line).

4.1.2 Transporte público

No aspecto do transporte coletivo de passageiros foi abordado o município de São Paulo, que está inserido na RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), que inclui transporte para uso em atividades comerciais e transporte de cargas. Destaca-se, também, o transporte por motocicletas, que pode ser utilizado tanto para deslocamento ao trabalho, bem como para as diversas atividades comerciais, considerando tratar-se de uma modalidade de transporte mais rápida.

Ressaltam-se as desvantagens dos riscos inerentes e das limitações, das motocicletas, quanto ao reduzido deslocamento de pessoas, que se compensa pela quantidade crescente dessa categoria, ocasionando verdadeiro caos no trânsito, visto que não há corredores específicos para o seu deslocamento.

Destaca-se na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP como característica, um sistema de transporte por ônibus, formando uma rede integrada, objetivando o

Tabela 2 - Estimativa da frota de veículos da RMSP em 2015

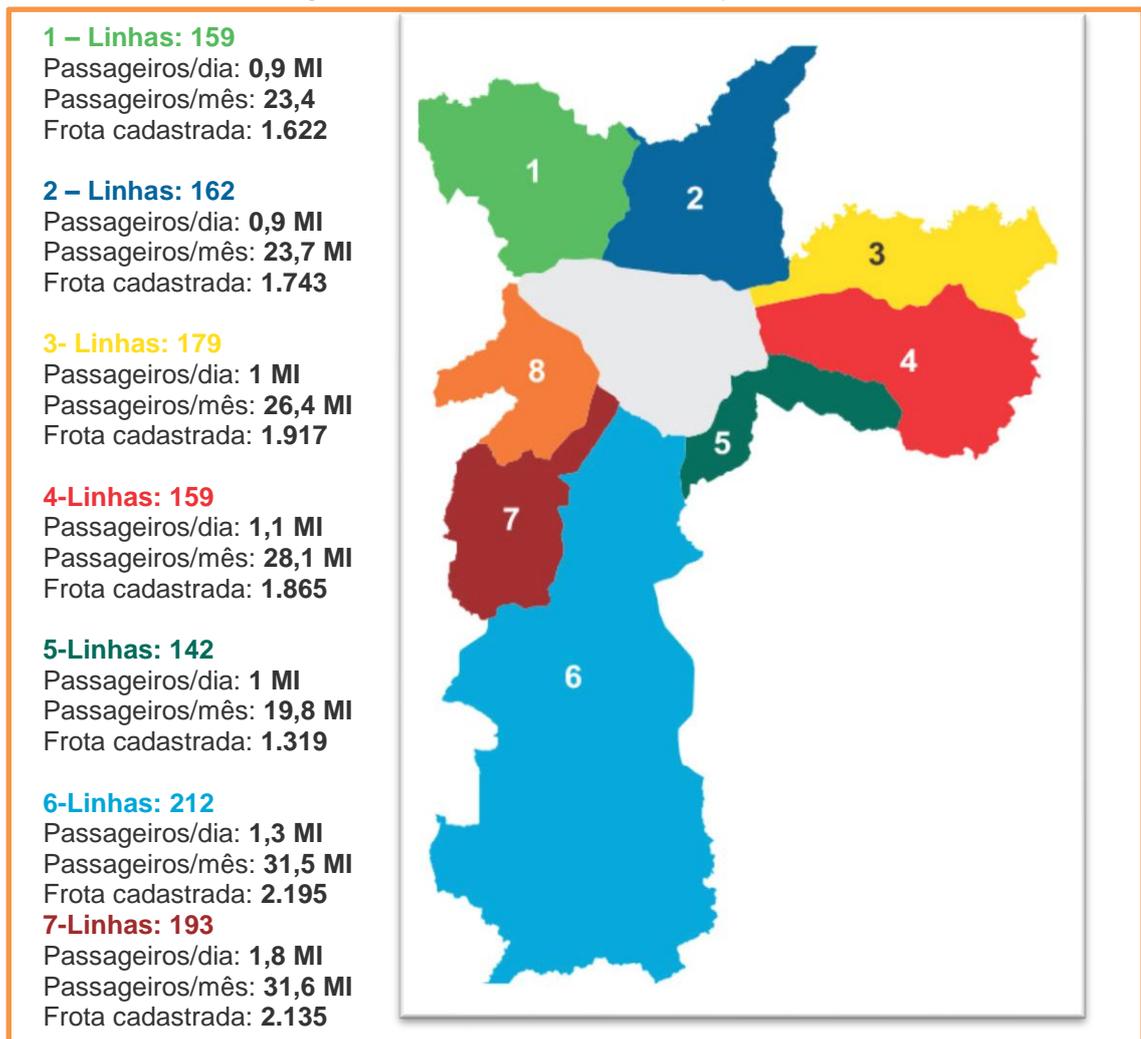
Categoria		Combustível	Frota Circulante na RMSP	% Frota RMSP/Estado
Automóveis		Gasolina C	1.882.641	55%
		Etanol Hidratado	121.999	42%
		<i>Flex-fuel</i>	3.273.643	50%
Comerciais leves		Gasolina C	366.724	59%
		Etanol Hidratado	11.079	39%
		<i>Flex-fuel</i>	409.071	44%
		Diesel	184.652	45%
Caminhões	Semileves	Diesel	14.763	39%
	Leves		45.823	39%
	Médios		27.043	39%
	Semipesados		45.174	40%
	Pesados		46.693	39%
Ônibus	Urbanos	Diesel	34.477	53%
	Micro-ônibus		7.785	54%
	Rodoviários		15.220	52%
Motocicletas		Gasolina C	771.205	37%
		<i>Flex-fuel</i>	128.292	23%
TOTAL			7.386.283	48%

Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2018). adaptado de Relatório de Emissões Veiculares, 2016.

A tabela 2 apresenta a estimativa da frota circulante, de todas as categorias, no Estado de São Paulo, destacando a proporção de 48% no contexto da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo).

O total de ônibus urbanos, segundo a tabela 2, chega a 34.477, correspondendo a 53% da frota circulante no Estado de São Paulo.

Figura 2 - Frota de Ônibus do Município de SP



Fonte: Base de dados: SPTrans. Janeiro de 2019.

No contexto da RMS, destaca-se o município de São Paulo, onde a figura 2 mostra a divisão da cidade em oito áreas, visando facilitar a racionalização do sistema, o atendimento, a oferta de coletivos e a integração entre as linhas.

Segundo BRASIL. IBGE (2018, on-line), “Aproximadamente 12,2 milhões de habitantes fazem com que a cidade de São Paulo seja a mais populosa do hemisfério Sul.”

Quanto ao sistema de transporte:

Transporta em média 9,96 milhões de passageiros por dia útil, para isso, conta com 1.340 linhas e uma frota de 14.048 ônibus. Cada área do mapa tem uma identidade, reconhecida por uma cor diferente que também é aplicada nos ônibus dessa região. (BRASIL. IBGE, 2018, on-line).

4.2 Poluição relacionada ao transporte público:

4.2.1 Origens das fontes de poluição

Conhecer as origens das fontes de poluição e os gases decorrentes, é essencial para traçar medidas de controle para redução desses gases. Apesar dos avanços na tecnologia dos ônibus a diesel, no entanto esses veículos, mostram uma certa morosidade no percurso desse avanço, na medida que ainda têm como predominância padrões com caráter muito poluidores, conforme apontado pela figura 3.

Figura 3 - Fumaça preta liberada por ônibus escolar na Califórnia



Fonte: (MILLER, 2018).

Ressalta-se na figura 3 a poluição gerada pelos combustíveis fósseis em ônibus a diesel com a tecnologia ultrapassada.

Tabela 3 - Estimativa de emissão das fontes de poluição na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão (1000 t/ano)					
			CO	HC	NO _x	MP	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis	Gasolina C	43,20	9,21	5,65	0,03	0,07	
		Etanol Hidratado	15,08	2,80	1,21	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	12,46	4,91	1,25	0,02	0,07	
		Flex-Etanol Hidratado	14,68	4,15	1,18	nd	nd	
	Comerciais Leves	Gasolina C	7,40	2,18	0,85	0,01	0,02	
		Etanol Hidratado	0,90	0,22	0,09	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	1,72	0,80	0,22	0,004	0,01	
		Flex-Etanol Hidratado	2,45	0,64	0,20	nd	nd	
		Diesel	0,86	0,22	3,70	0,17	0,19	
	Caminhões	Semileves	Diesel	0,19	0,06	0,99	0,05	0,03
		Leves		0,82	0,24	4,58	0,18	0,13
		Médios		0,54	0,17	3,10	0,15	0,08
		Semipesados		1,25	0,27	7,16	0,20	0,25
		Pesados		1,20	0,30	7,35	0,19	0,24
	Ônibus	Urbanos	Diesel	2,17	0,44	10,84	0,30	0,01
		Micro-ônibus		0,33	0,08	1,68	0,06	0,002
		Rodoviários		0,18	0,05	1,20	0,03	0,04
	Motocicletas	Gasolina C	22,52	2,93	0,79	0,06	0,01	
		Flex-Gasolina C	0,63	0,09	0,04	0,003	0,001	
		Flex Etanol Hidratado	0,45	0,08	0,03	nd	nd	
Total Emissão Veicular (2016)			129,03	29,84	52,11	1,43	1,14	
FIXA	Operação de Processo Industrial (2008) (Número de indústrias inventariadas)		4,18 ¹ (62)	5,6 ² (124)	26,1 ² (162)	3,57 ² (193)	5,59 ¹ (146)	
	Base de combustível líquido (2008) (9 empreendimentos)		-	3,68 ²	-	-	-	
TOTAL GERAL			133,21	39,12	78,21	5,00	6,73	

Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2018).

Nota 1:

Ano de referência do inventário de fontes: 2008

Nd: não disponível

Nota 2:

As emissões evaporativas provenientes da frota de automóveis e comerciais leves do ciclo Otto estão incorporadas nas próprias emissões de HC, incluindo também a estimativa de emissão evaporativa de abastecimento dos veículos nos postos de combustível.

Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2016

Obs.: fator de conversão para o diesel: 1m³ = 1 tonelada/2,7 = 1000 t/ano=370,4 m³/ano.

Destaca-se na tabela 3, a estimativa das fontes de emissão de poluentes com destaque aos ônibus urbanos a diesel, apontando: 2.170 t/ano para o CO (Monóxido

de Carbono) 440 t/ano para o HC (Hidrocarbonetos); 10.840 t/ano para o NO_x (Óxido de Nitrogênio); 300 t/ano para o MP (Material Particulado) e 10 t/ano para o SO_x (Óxido de Enxofre).

Tabela 4 - Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP¹

Categoria		Combustível	Poluentes (%)					
			CO	HC	NO _x	MP ₁₀ ¹	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis	Gasolina C	34,40	25,30	7,26	0,68	1,02	
		Etanol Hidratado	11,19	7,14	1,47	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	5,68	8,24	0,93	0,40	0,66	
		Flex-Etanol Hidratado	11,32	11,60	1,51	nd	nd	
	Comerciais Leves	Gasolina C	6,04	6,19	0,98	0,13	0,28	
		Etanol Hidratado	0,69	0,56	0,11	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	0,80	1,40	0,17	0,06	0,14	
		Flex-Etanol Hidratado	2,12	1,90	0,28	nd	nd	
		Diesel	0,71	0,63	4,96	4,63	2,95	
	Caminhões	Semileves	Diesel	0,16	0,16	1,33	1,30	0,41
		Leves		0,67	0,68	6,11	5,19	1,93
		Médios		0,45	0,49	4,15	4,19	1,19
		Semipesados		0,98	0,73	9,13	5,51	3,42
		Pesados		0,93	0,82	9,34	5,14	3,35
	Ônibus	Urbanos	Diesel	1,78	1,29	14,59	8,65	0,17
		Micro-ônibus		0,13	0,09	1,04	0,57	0,01
		Rodoviários		0,31	0,31	3,13	2,05	1,12
	Motocicletas	Gasolina C	17,82	7,90	0,99	1,43	0,10	
		Flex-Gasolina C	0,38	0,21	0,04	0,06	0,01	
		Flex Etanol Hidratado	0,25	0,15	0,03	nd	nd	
% Emissão Veicular (2015)			96,82	75,78	67,56	40,00	16,77	
FIXAS	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (2008)		3,18	14,62	32,44	10,00	83,23	
	BASE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO (2008)		-	9,61	-	-	-	
OUTRAS	RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS		-	-	-	25,00	-	
	AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS		-	-	-	25,00	-	
TOTAL			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

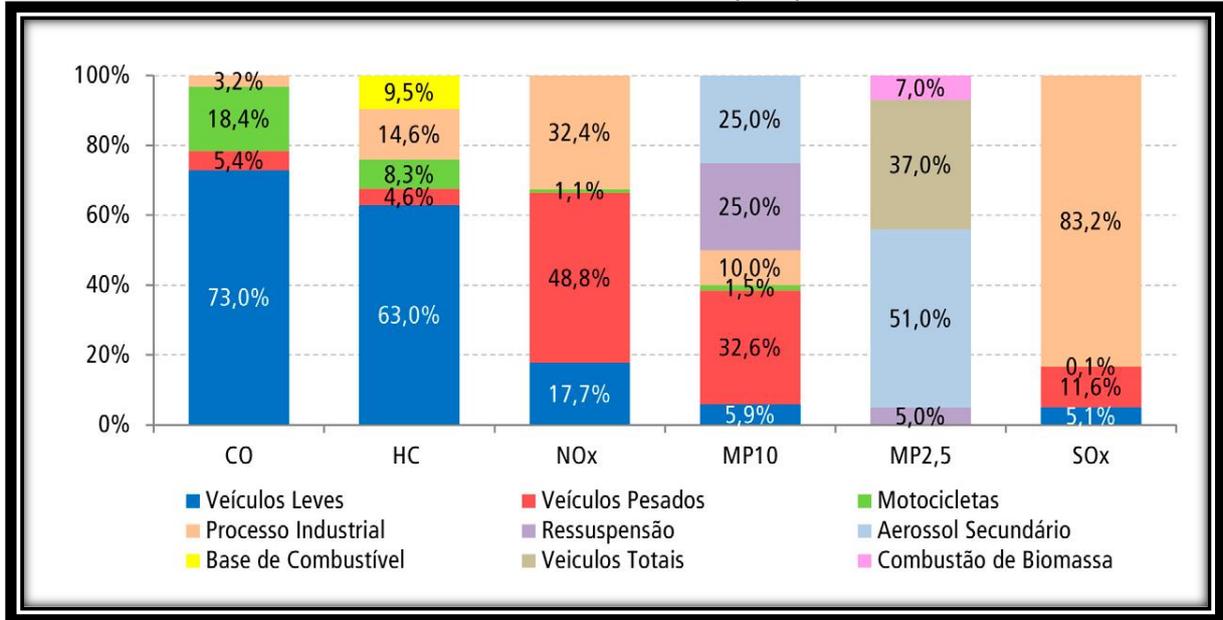
Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2016).

Nd: não disponível

¹ Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis (CETESB, 2002). A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

Aponta-se na tabela 4, a contribuição relativa das fontes de emissão de poluentes com destaque aos ônibus urbanos a diesel, apontando: 1,78% para o CO; 1,29% para o HC; 14,59% para o NOx; 8,65% para o MP e 0,17% para o SOx.

Gráfico 1 - Emissões relativas por tipo de fonte



Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2018).

O gráfico 1 apresenta as emissões relativas por tipo de fonte, com destaque para os veículos pesados, que incluem caminhões e ônibus, totalizando uma porcentagem dos poluentes de: 5,4% de CO; 4,6% de HC; 48,8 % de NOx; 32,6 % de MP10 e 11,6% de SOx.

Ressalta-se, conforme gráfico 1, a contribuição dos veículos (40% = 1,5 % Motocicletas; 32,6 % Veículos pesados e 5,9 % para os veículos leves), foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

4.2.2 Efeitos à saúde e ao meio ambiente, decorrentes da poluição do ar

A tabela 5 apresenta os efeitos, à saúde e ao meio ambiente, decorrentes da poluição do ar, com destaque ao CO₂, que é o principal responsável pelo efeito estufa GEE (Gás de Efeito Estufa) e que causa, ainda, problemas respiratórios e cardiovasculares.

Tabela 5 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos ao Meio Ambiente	Efeitos à Saúde
Partículas Inaláveis Finas (MP2,5)	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho $\leq 2,5$ micras.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.	Agravam quadros alérgicos de asma e bronquite e de doenças do coração. Podem ser cancerígenos e facilitam a propagação de infecções gripais.
Partículas inaláveis (MP10) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspena, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.	Agravam quadros alérgicos de asma e bronquite e de doenças do coração. Podem ser cancerígenos e facilitam a propagação de infecções gripais.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 50 micras.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspena, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.	Agravam quadros alérgicos de asma e bronquite e de doenças do coração. Podem ser cancerígenos e facilitam a propagação de infecções gripais.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser oxidado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulose e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.	Provoca coriza, catarro e danos aos pulmões. Fatal em doses altas, especialmente combinado com Material Particulado.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.	Desconforto respiratório e diminuição da resistência a infecções. Alterações celulares.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	- Combustão incompleta em veículos automotores.		Diminui a oxigenação do sangue causando tonturas, vertigens e alterações no sistema nervoso central. Pode ser fatal em concentrações altas. Portadores de doenças cardiorrespiratórias podem ter sintomas agravados.
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.	Causa envelhecimento precoce da pele e diminui a resistência a infecções. Provoca irritação nos olhos, nariz e garganta. Provoca desconforto respiratório.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Gás incolor, inodoro e insípido.	- Combustão incompleta em veículos automotores.	Principal responsável pelo efeito estufa	Causa problemas respiratórios e cardiovasculares.

Fonte - (SÃO PAULO. CETESB, 2016).

Tabela 6 - Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2.5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N3 - MODERADA	41 - 80	>50 - 100 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>25 - 50 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>100 - 130 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>9 - 11 Pessoas com doenças cardíacas podem apresentar sintomas como cansaço e dor no peito.	>200 - 240 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>20 - 40 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
N4 - RUIM	81 - 120	>100 - 150 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>50 - 75 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>130 - 160 Pessoas com doenças respiratórias, como asma, e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>11 - 13 População em geral pode apresentar sintomas como cansaço. Pessoas com doenças cardíacas têm os sintomas como cansaço e dor no peito agravados.	>240 - 320 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias e crianças têm os sintomas agravados.	>40 - 365 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados.
N5 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>75 - 125 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>160 - 200 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>13 - 15 Aumento de sintomas em pessoas cardíacas. Aumento de sintomas cardiovasculares na população em geral.	>320 - 1130 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>365 - 800 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.
N6 - PÉSSIMA	>200	>250 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.	>125 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.	>200 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica.	>15 Agravamento das doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva.	>1130 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica.	>800 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.

Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2016).

Considerando os dados, apontados pela tabela 6, no que se refere à questão da qualidade do ar e seus graves efeitos à saúde, a CETESB tem o cuidado do monitoramento da presença dos gases referidos, sobretudo os MP presentes na atmosfera. A partir desse controle é possível criar relatórios que indiquem os níveis de

saturação de MP10, do SO₂ e do NO₂, além do CO e do O₃, e ainda possibilitando caracterizar as condições satisfatórias do ar, em termos de sua qualidade desejável.

Destaca-se como importante trabalho da CETESB, que os índices de concentração de cada gás, que geram poluição e seus efeitos indesejáveis, são levantados em estações específicas de medição e que são consideradas as medidas com os maiores valores registrados.

Dessa forma obtém-se uma ponderação dos índices registrados, possibilitando com isso um melhor retrato dos agravantes que determinados gases provocam a nossa saúde.

Relativo à essa questão dos graves riscos à saúde humana, constata-se segundo Perrin (2018, on-line), “cerca de 5000 pessoas morrem por ano na capital paulista, devido a inalação de MP. São estimados que cerca de 47% desse material, que causam: doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer do pulmão, são produzidos por ônibus diesel.”

Ainda nessa questão, um estudo foi divulgado pelo Instituto de Saúde e Sustentabilidade e a Escola Paulista de Medicina e apontou que:

Se os níveis de poluição continuarem como estão, até 2025, haverá mais de 51 mil mortes na Grande São Paulo provocadas pela má qualidade do ar. Os números correspondem a 6,4 mil mortes por ano, ou seja, 18 mortes por dia na Região Metropolitana de São Paulo. (DINIZ, 2018, on-line).

Segundo os pesquisadores, a poluição em São Paulo mata duas vezes mais do que acidentes de trânsito, cinco vezes mais do que câncer de mama e sete vezes mais que a AIDS.

Sem falar na perda de produtividade: são os gastos com as doenças, que chegarão a R\$ 22 bilhões nos próximos 8 anos. Durante a pesquisa, os médicos afirmaram que 11 pessoas devem dar entrada nos hospitais diariamente - até 2025 - com doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer de pulmão. (DINIZ, 2018, on-line).

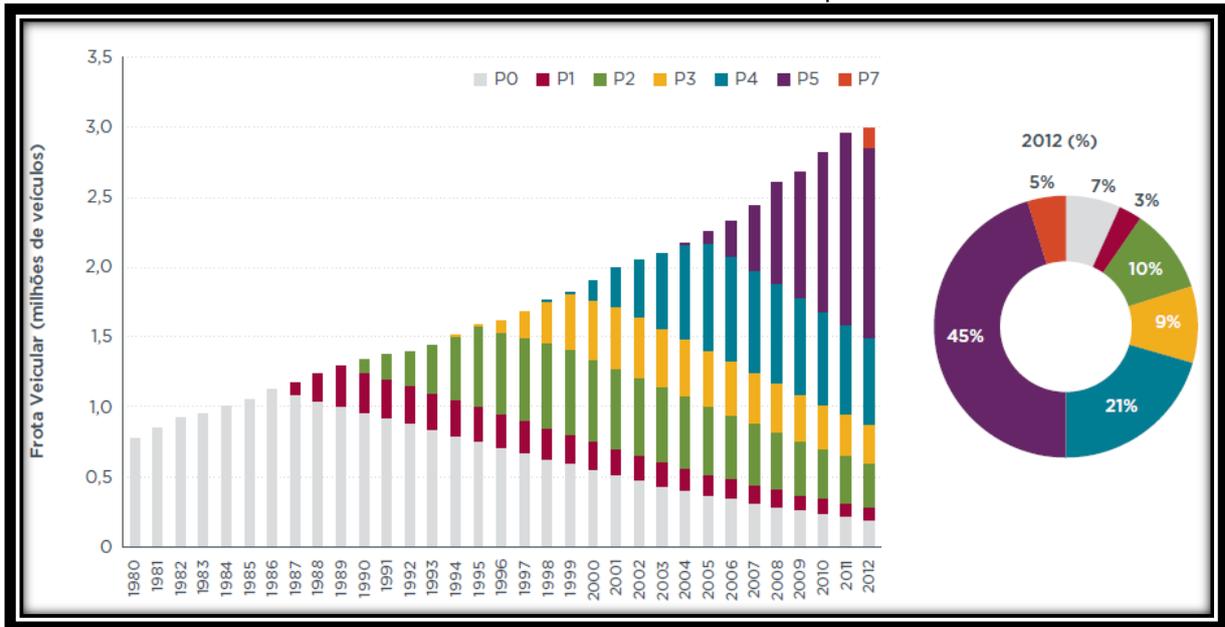
4.2.3 Evolução das normas Euro em relação as normas do PROCONVE - Brasil

As normas PROCONVE P-7 (Programa de Controle de Emissões Veiculares) adotadas no Brasil para veículos de categoria pesada, incluindo ônibus e caminhões, em 2012, estão associadas às normas equivalentes Europeias, denominadas de Euro.

Ressaltam-se as equivalências da seguinte forma: P7 – Euro V. Destaca-se que:

Antes de 2012, a frota de veículos pesados do Brasil consistia em grande parte de veículos da categoria PROCONVE P-5, Euro III e P-4, Euro II, com alguns veículos mais antigos da categoria Euro I e caminhões não controlados ainda em uso (gráfico 2). (FAÇANHA et al. 2016, p. 3).

Gráfico 2 - Estimativas da frota de veículos a diesel por fase - PROCONVE



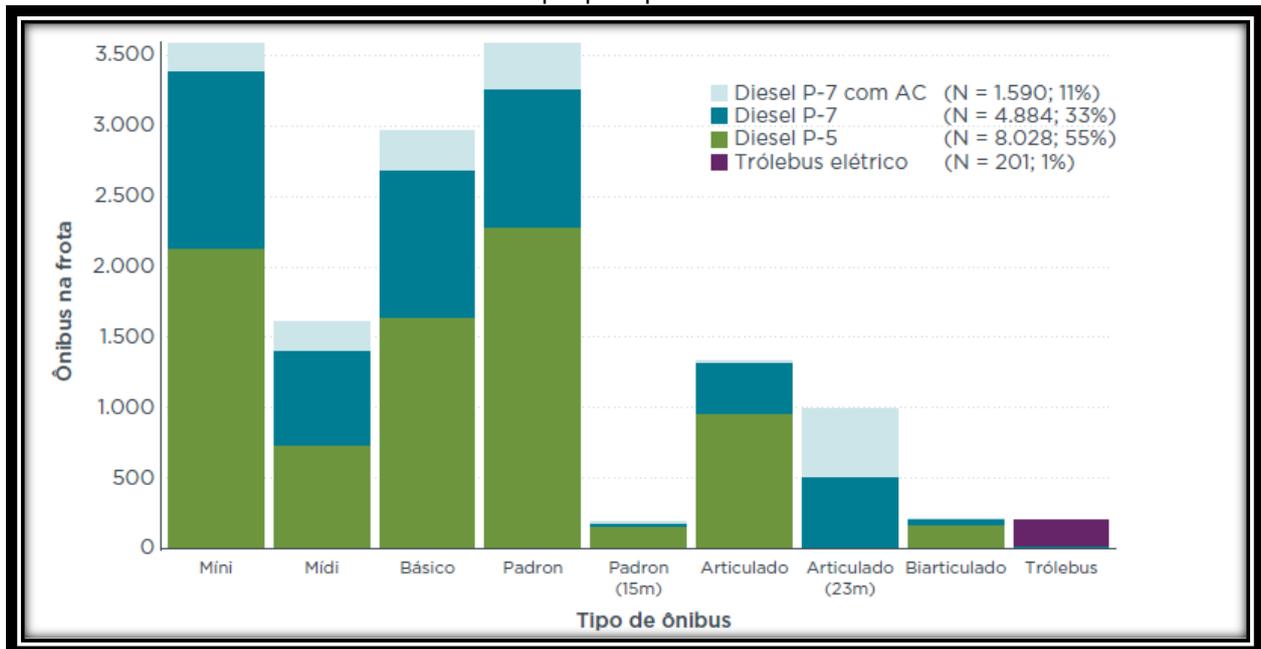
Fonte: (FAÇANHA et al. , 2016).

No gráfico 2, nota-se que, antes de 2012 a frota do Brasil apontava para veículos de categoria P5 e P4, com destaque para P3. Essa questão da tecnologia PROCONVE (P), adotada para amenizar a poluição do ar, se comporta de certa forma bem defasada, com cerca de seis anos de atraso na sua implantação. A UE já implementou o padrão Euro VI em 2014, e no Brasil há a estimativa de implantação da norma equivalente P8, somente a partir de 2022.

Os padrões de emissão são definidos em uma serie de diretivas da UE, promovendo introdução progressiva de padrões cada vez mais rigorosos.

Do padrão europeu de emissão, aponta-se que as classes tecnológicas indicam o grau de avanço dos veículos originais a diesel e quanto mais avançados os motores, menores os fatores de emissão.

Gráfico 3 - Frota de ônibus municipal por tipo de ônibus e nível de controle de emissões.



Fonte: (DALLMANN, 2019).

Conforme apontado no gráfico 3, 99% da frota de referência, do ano de 2016 no município de São Paulo, é movida a diesel. Os ônibus de tecnologia alternativa, usados na época, incluíam trólebus elétricos, responsáveis pelo restante da frota. A frota a diesel estava dividida de forma mais ou menos igual entre ônibus certificados pelos padrões de emissão PROCONVE P-5, com 55% e P-7, incluindo os ônibus com ar condicionado, com 44%.

Veículos pesados, sobretudo os ônibus urbanos, são responsáveis por uma grande parcela das emissões de poluentes que causam graves danos à saúde humana, sendo assim fortes candidatos ao controle de emissão.

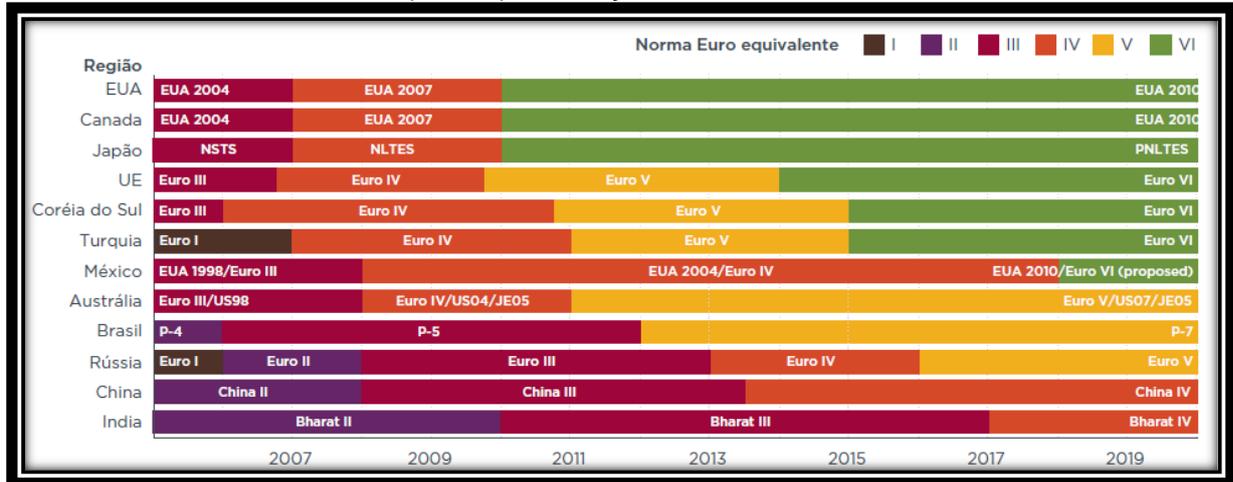
Ressalta-se que no Brasil não há muitos esforços para cumprimento das normas e que segundo Miller; Façanha (2016, p.1), “As fases do PROCONVE, para veículos pesados tem sido implementada com uma defasagem média de 5 anos do programa Europeu, com a mais recente P-7, equivalente a norma Euro V da Europa, implementada em 2012.”

O controle da poluição não tem sido muito satisfatório e que segundo Miller; Façanha (2016, p.1), “Apesar das múltiplas fases do PROCONVE, a qualidade do ar nas grandes regiões metropolitanas do Brasil ainda está muito aquém dos níveis recomendados pela OMS (Organização Mundial da Saúde).”

Os veículos a diesel padrão Euro 3, segundo o gráfico 3, constituem 8028 ônibus, com 55% da frota do município de São Paulo. As estimativas de extinção do

padrão Euro 3 deveriam ocorrer a partir de 2012, com a substituição pelo Euro V, que equivale a P-7 do PROCONVE, segundo apontado pelo gráfico 4.

Gráfico 4 - Prazo para implementação de normas nacionais de emissões



Fonte: (MILLER; FAÇANHA, 2016).

Segundo o gráfico 4, comparando à UE com o Brasil, comprova-se a questão da defasagem no implemento das normas PROCONVE, equivalentes à Euro, para veículos pesados a diesel.

Para amenizar de forma significativa, mitigando a poluição urbana, com a necessidade de promover o crescimento tecnológico, compatível e consistente com desenvolvimentos internacionais, é necessário implementar novas fases do PROCONVE, procurando com isso reduzir a defasagem dos programas PROCONVE.

Destaca-se, no gráfico 4, a norma EURO VI, implantada em 2014 na UE e que o Brasil ainda se encontra na norma Euro V = P7. Estima-se que a partir de 2022, o Brasil implementará a fase Euro VI = P8. As classes tecnológicas dependem da idade dos veículos: Euro 3, são veículos de ano de fabricação de 2000 em diante; Euro 5, de 2012 em diante e Euro 6, de 2014 em diante. No caso do Brasil, a equivalência no ano de implementação são: Euro 3=P5 ano de 2004 em diante; Euro 5=P7 ano 2012 em diante, conforme apontado no gráfico 4. Em relação à essas normas destacam-se:

Para mitigar a poluição urbana e promover o progresso tecnológico consistente com desenvolvimentos internacionais, é necessário implementar novas fases do PROCONVE. Além de limites de emissões mais rigorosos, a fase P-8 (assumindo a equivalência à norma europeia Euro VI) fortalecerá significativamente o PROCONVE, já que incluirá a adoção de ciclos de testes mais representativos, sistemas mais avançados de diagnóstico de bordo (OBD) e mecanismos antifalha para garantir o uso e funcionamento correto dos sistemas de redução catalítica seletiva (SCR, em sua sigla em Inglês), e o atendimento dos requisitos de conformidade em uso. Estas melhorias assegurarão que a norma P-8 atinja as reduções de emissões esperadas em situações reais e não apenas no laboratório (MILLER; FAÇANHA, 2016, p.IV).

Na questão da defasagem do PROCONVE em relação a UE, conforme gráfico 4, destaca-se:

Cinco dos maiores mercados automotivos - a União Europeia (UE), os Estados Unidos (EUA), o Canadá, o Japão e a Coréia do Sul — já implementaram normas equivalente à Euro VI e o México propôs normas equivalentes com a implementação planejada para 2018. Se a norma P-8 fosse implementada em 2018, o Brasil estaria 5 e 8 anos defasado com relação à UE e EUA respectivamente. (MILLER; FAÇANHA, 2016, p.IV).

Figura 4 - Benefícios e Custos cumulativos da norma P-8 (2018 -2048)



Fonte: (MILLER; FAÇANHA, 2016).

GWP, Global Warming Potentials- Potencial de Aquecimento Global;
GWP-20, Potencial de Aquecimento Global por 20 anos;
VKT, Vehicle Kilometers Traveled – Quilômetros de Viagem por Veículo.

Considerando a estimativa, ao longo dos próximos 30 anos, com a utilização de tecnologias diesel menos poluentes ou de poluição zero, como os ônibus elétricos a bateria, será possível obter-se um panorama das vantagens nas relações custo-

benefício e, sobretudo, quanto a preservação da qualidade de saúde dos seres humanos, conforme dados apontados da figura 4.

Nesse panorama:

Em um período de 30 anos, tendo iniciado em 2018, a norma P-8 resultaria em benefícios a saúde avaliados em USD 74 bilhões a um custo de USD 7 bilhões, com uma relação benefício-custo de 11:1. Tal valor é consistente com análises de custo-benefício equivalentes em outros mercados, variando de 11:1 no México a 16:1 nos EUA. (MILLER; FAÇANHA, 2016, p.V).

A questão dos avanços tecnológicos, que permitirão aos obsoletos ônibus diesel, ainda com predominância da tecnologia Euro III-P5, sobretudo no Brasil, trarão custos adicionais, decorrentes desses avanços:

Embora se espere que as montadoras venham a arcar com um aumento médio de USD 2.460 por veículo devido as novas tecnologias, a norma P-8 provavelmente não aumentará os custos com combustível em comparação a norma atual, uma vez que os veículos P-7 já usam diesel S10, 10% de enxofre) e ARLA-32. (MILLER; FAÇANHA, 2016, p.V).

Se for levado em conta a questão dos benefícios à saúde, contudo se esses veículos, abastecidos com combustível fóssil, contemplarem as novas tecnologias agregadas, será um passo do ponto de vista da redução significativa dos índices de poluição:

No mesmo período, a norma P-8 evitaria 74.000 mortes prematuras por exposição a emissões de partículas finas, MP_{2,5}, em zonas urbanas, além de menores emissões de NO_x e HC derivados de combustível fóssil, sobretudo o diesel. Cada ano de atraso na implementação da norma P-8, após 2018 resultará mais 2.500 mortes prematuras, o que se destaca a importância da ação em tempo hábil. (MILLER; FAÇANHA, 2016, p.V).

4.2.4 Política de Mudança do Clima do Município de São Paulo – Lei 16802/18

A atual Lei Municipal 16.802/2018, aprovada pela Câmara Municipal de São Paulo, que mudou o artigo 50 da Lei 14.933/2009, instituindo a Política de Mudança do Clima do Município de São Paulo, tem o seu foco na questão da poluição ambiental, emanada dos ônibus urbanos a diesel.

Nesse novo quesito o foco se concentrou em transporte coletivo poluente, estabelecendo parâmetros suportáveis de emissão de poluente e a estimativa de implementação de transporte coletivo menos poluente, com matriz energética proveniente das energias renováveis e conforme o seu artigo 50 parágrafo sexto:

As escolhas das alternativas de combustíveis e tecnologia serão realizadas no âmbito do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas, instituído pela presente lei no momento de sua promulgação, a qualquer tempo, desde que observado o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos firmados pela Administração Pública: (SÃO PAULO, 2018, p. 2).

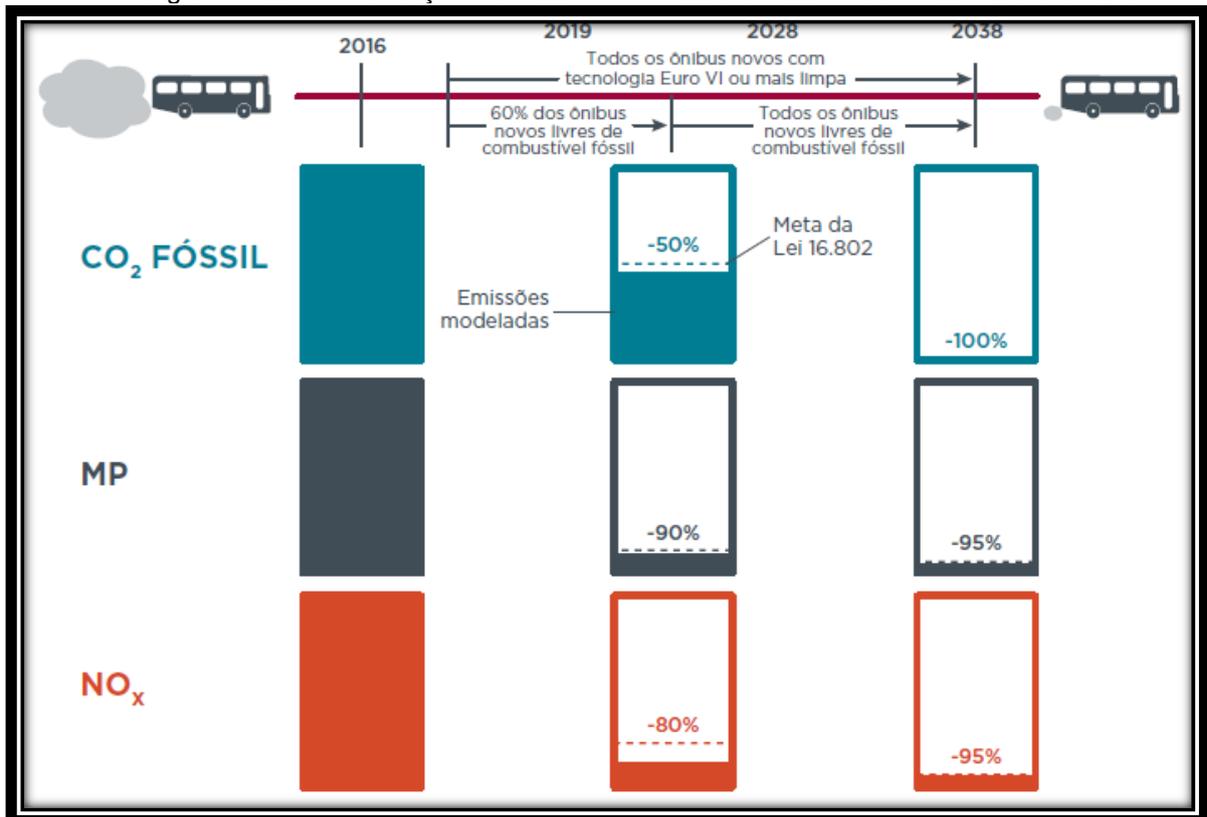
No que se refere ao controle da poluição e das alternativas de veículos menos poluidores, a Lei 16.802/2018, incorporou na questão do artigo 50, parágrafo sexto, segundo São Paulo (2018, p. 2-3):

I - As metas intermediárias e finais de redução de emissões estabelecidas nesta lei serão fixas e inadiáveis, entretanto, havendo conjuntura favorável, poderão ser ajustadas para patamares mais rigorosos, em termos de quantidade de emissões reduzidas e prazos, mediante avaliações objetivas e transparentes a serem realizadas a cada 5 (cinco) anos, por um Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento de Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas;

III - Os lotes de veículos substitutos de cada operadora devem ser compostos, obrigatoriamente, por unidades novas, dotadas de propulsores e/ou combustíveis de menor impacto poluidor do que os veículos convencionais substituídos, de modo a garantir reduções na emissão de poluentes;

VIII - As empresas operadoras de transporte coletivo e coleta de lixo deverão apresentar, até 31 (trinta e um) de março de cada ano de exercício, um relatório anual de emissões da frota sob sua responsabilidade, relativo ao ano anterior, detalhando as quantidades de quilômetros rodados por cada veículo cadastrado no sistema, consumos de combustíveis, o total anual das emissões de cada poluente e gases do efeito estufa, bem como apresentar as medidas de controle já existentes e a serem implantadas, no sentido da redução adicional do consumo de combustível e das emissões.

Figura 5 - Metas e reduções de emissões estimadas em acordo com a Lei 16.802/18



Fonte: (DALLMANN, 2019).

A figura 5 aponta com mais detalhes as metas de redução de emissões estabelecidas na Lei 16.802/18, ao longo dos próximos 20 anos, e exemplifica as reduções esperadas segundo uma estratégia de aquisição de ônibus compatível com os requisitos da emenda a Lei do Clima, com destaque as expectativas do advento da tecnologia Euro VI, com equivalência ao P-8 no Brasil, ainda não implantada.

Nota-se uma mudança significativa ao longo dos anos, sobretudo para a questão do CO₂, que colabora para a produção do GEE, que ao final de 20 anos deverá estar 100% eliminado, em face do aquecimento global que tende a aumentar a temperatura do planeta e gerar consequências graves, decorrentes desse aquecimento.

Nessa questão dos avanços tecnológicos, atualmente o destaque para o Brasil, ainda se encontra com predominância ao Euro III, equivalente ao P-5 do Brasil.

Gráfico 5 - Mudanças projetadas na composição da Frota x Emissões (MP; NOx e CO2)
- Município de São Paulo – Lei 16.802/18



Fonte: (DALLMANN, 2019).

Contudo ressaltam-se, no gráfico 5, a citação às normas europeias de emissão, que definem os limites aceitáveis para as emissões de escape de veículos novos vendidos nos estados membros da UE e da EEE e ainda a previsão de mudança da frota dos ônibus do município de São Paulo, adotando as tecnologias menos poluentes ao longo dos 10 anos, com destaque na tecnologia elétrica a bateria, que prevê cerca de 6000 veículos até o ano de 2028.

A questão da redução significativa, Emissões x Ano, da poluição ambiental, no uso da tecnologia Elétrica a bateria, encontra-se bem acentuada, sobretudo quanto aos poluentes: MP e NOx, que provocam enormes distúrbios à saúde pública. No caso do CO2, importante na questão da produção do GEE, a redução está bem aquém do desejável.

4.3 Tecnologias dos ônibus

4.3.1 Diesel

Caracterizado como o vilão da poluição esse combustível fóssil, deveria ter os seus dias contados, em face do agravamento da questão do aquecimento global. Nesse contexto a soma dos efeitos do diesel são de extrema gravidade, na medida dos efeitos desse aquecimento e os fatores decorrentes da elevação de temperatura do planeta, devido aos efeitos dos GEE. As novas gerações irão sentir os efeitos desse aumento de temperatura.

Os veículos a diesel, apesar de estarem passando por avanços tecnológicos, ainda se destacam como grandes poluidores e muito ruidosos. Esses avanços caminham a passos mais largos nos países de primeiro mundo, contudo nos países em desenvolvimento, como o Brasil, esses avanços são muito aquém do desejável.

Apesar das dificuldades dessas inovações, abordar-se-ão os pontos mais favoráveis desse percurso. Essas mudanças inovadoras, dividem-se em três tecnologias, consideradas revolucionárias e importantes:

- Na combustão:

As novas tendências tecnológicas, baseadas na otimização da combustão possibilitaram muita eficiência, viabilizando a redução do consumo de combustível, e ainda as emissões de gases poluentes na atmosfera, devido a uma adequação do controle da entrada do ar.

Conforme dados levantados pela ANTP (Agência Nacional de Transportes Públicos) e a EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo) quanto aos avanços tecnológicos, decorrentes das exigências das leis ambientais e sobretudo da necessidade vital de manutenção de poluentes, tem-se como exemplos, os turbos carregadores, Intercoolers (resfriador) ou aftercoolers (após resfriador), e o EGR (Recirculação do Gás de Escape).

- Tratamento posterior dos gases emitidos:

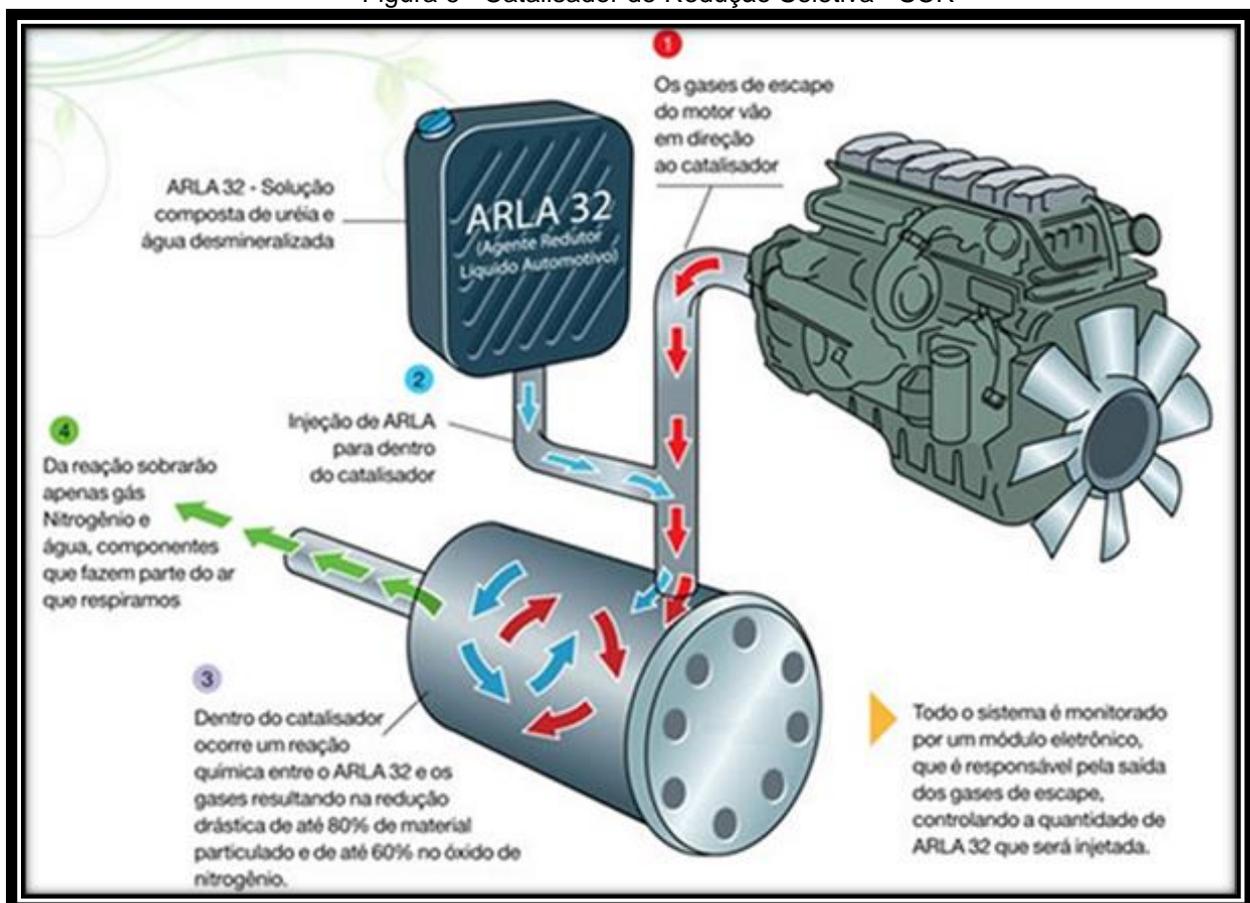
As tecnologias adotadas objetivam uma redução, após a geração de gases poluentes, como NOx e o MP.

No que se refere a essas tecnologias, direcionadas para os ônibus, constam, “DOC (Catalizadores de Oxidação Diesel) e SCR (Redutor Catalítico Seletivo), DPF

(Filtro de Partículas Diesel) e FTF (Filtro de Fluxo)”. (SÃO PAULO. CETESB, 2019, on-line).

Em relação a tecnologia SCR, pode-se destacar o ARLA-32 (Agente Redutor Líquido de Óxido de Nitrogênio Automotivo), que se trata de uma solução injetada no sistema de escapamento dos veículos, objetivando a redução do NOx. A interação da solução injetada com o NOx gera vapor de água e gás nitrogênio, que são inofensivos a saúde. Segundo São Paulo. CETESB (2019, on-line), “o ARLA 32 é uma solução aquosa com concentração de 32,5%, em massa, de ureia técnica de alta pureza em água desmineralizada, conforme NBR ISO 22.241.”

Figura 6 - Catalisador de Redução Seletiva - SCR



Fonte: (SÃO PAULO. CETESB, 2019, on-line).

A figura 6 mostra as fases do funcionamento do SCR. Ressalta-se que:

O ARLA 32 surgiu pela necessidade de atender aos limites mais restritivos de emissões da fase P7 do PROCONVE. Dessa forma, desde 2012, a maioria dos veículos pesados fabricados no Brasil possui a tecnologia SCR para atender a esses limites. (SÃO PAULO. CETESB, 2019, on-line).

O sistema funciona por reação química, em que os gases poluidores NOx e MP, ao se misturarem no catalizador com o aditivo ARLA 32, são transformados em Nitrogênio e água, elementos que não são prejudiciais, pois fazem parte do ar que respiramos.

A quantidade da solução do ARLA 32 é feita na proporção de 5 litros para 100 litros de combustível, ou seja 5% colocado no reservatório próprio dessa solução, conforme ilustrado na figura 6.

Na questão da redução dos índices de MP e de NOx, segundo São Paulo. CETESB (2019), “aponta uma redução de 80 % do MP e de 60% do NOx.”

Em relação a questão legal, que se refere ao uso desse aditivo, os veículos da fase P7, segundo São Paulo. CETESB (2019, on-line), “são obrigados a utilizar ARLA 32 dentro das especificações. Caso não seja utilizado, os proprietários de veículos podem ser autuados por infração ambiental com base nos Artigos 68 e 71 do Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008.”

- Injeção eletrônica:

Nesse contexto destacaram-se avanços decorrentes em que se implementou o CRFI (Injeção Comum de Combustível), que propicia a redução do ruído e da vibração e, ainda, na questão dos poluentes reduz as emissões de MP e de NOx, que são decorrentes da combustão incompleta, na medida que essa combustão ocorre em alta temperatura.

4.3.2 Biodiesel

Trata-se de uma tecnologia complementar ao diesel, no sentido de melhoria da qualidade do tradicional combustível fóssil. A sua obtenção ocorre por meio de processo químico, denominado de transesterificação.

Com relação a utilização dessa tecnologia, ocorre que a mesma é utilizada como combustível, juntamente ao diesel na proporção de mistura, que podem ser denominadas de (B5; B20; etc.), entendendo que na B5 implica em 5% de biodiesel adicionado ao diesel e no caso do B20, há 20% de biodiesel adicionado. Também pode ser utilizado como combustível puro, denominado de B100.

Na medida do aumento de sua proporção, segundo a EMTU/SP (2014, p.28), “sua utilização em misturas acima de 20%, enfrenta resistências devido ao aumento de consumo, ao preço mais elevado do combustível e, sobretudo, a necessidade de

manutenção mais frequente para evitar a deterioração de alguns componentes do veículo”.

4.3.3 Diesel de cana de açúcar

Nas pesquisas realizadas não foi possível identificar uma aplicação efetiva dessa tecnologia, nos ônibus do transporte público, contudo destacar-se-ão aspectos de seu uso geral em outros setores e a possibilidade futura do seu implemento em substituição ao diesel:

A cana-de-açúcar já não precisa ser identificada apenas pelo nome do tradicional adoçante. Essa gramínea doce já pode ser chamada também de cana de etanol, cana de energia elétrica, com a queima do bagaço que gera eletricidade, e não se pode esquecer da cana da cachaça, a bebida típica nacional. Dentro em breve ela poderá ser reconhecida também como a cana do diesel. (OLIVEIRA, 2008, p.88).

Em relação ao diesel de cana de açúcar, prevalece uma tecnologia diferenciada e sob domínio de um número restrito de países e sobretudo dos EUA, onde se caracterizou a produção de milho e de outros tipos de grãos.

Na produção dessa matriz energética, o Brasil participa da parceria, por meio da empresa Crystalsev:

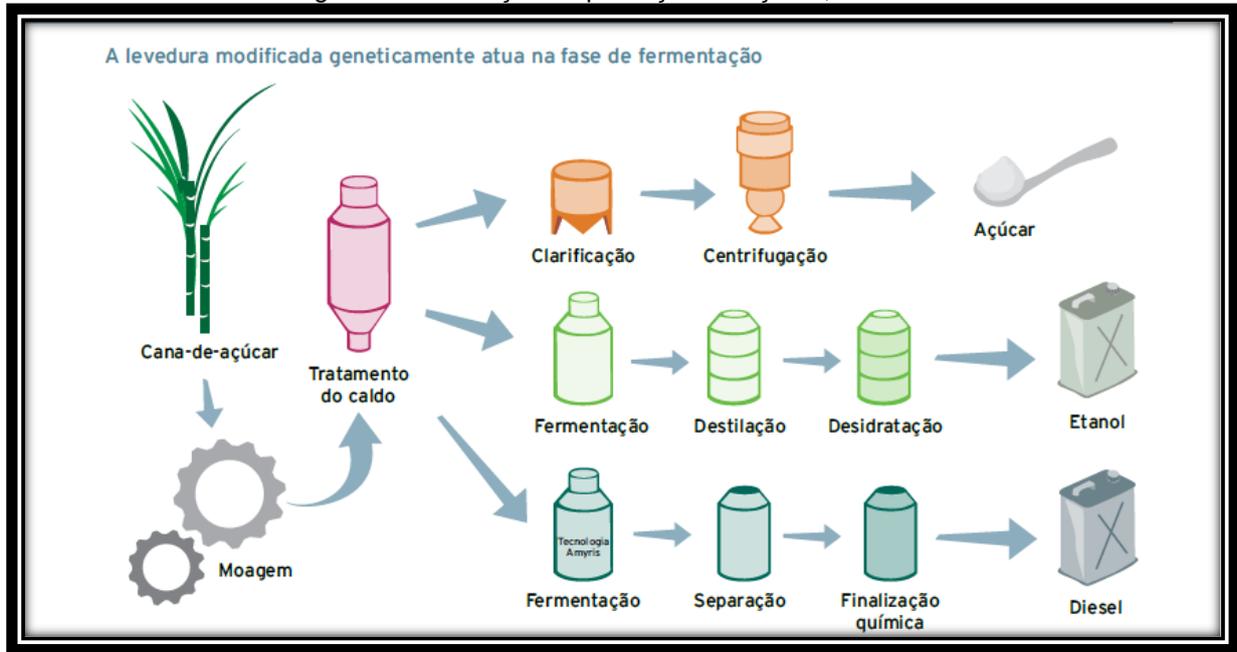
A novidade é da Amyris-Crystalsev, uma parceria no formato *joint venture*, empresa conjunta, entre a Amyris, empresa norte-americana de biotecnologia, e a Crystalsev, uma das maiores empresas de comercialização de etanol e açúcar do Brasil, que pertence ao mesmo grupo da Usina Santa Elisa, de Sertãozinho, no interior paulista. Também participa do empreendimento a Votorantim Novos Negócios, empresa de capital de risco que passou a investir na nova empresa. O feito tecnológico é da Amyris, que desenvolveu modificações genéticas em linhagens comerciais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, responsável por transformar o caldo de cana em etanol durante o processo de fermentação nas usinas. (OLIVEIRA, 2008, p.88).

No que se refere à sua semelhança com o diesel e de algumas vantagens:

Esse produto tem características semelhantes ao diesel, contudo, apresenta maior lubrificidade e não contém enxofre. Assim como o biodiesel, ele pode ser utilizado em diversas proporções de mistura com o diesel, podendo chegar à utilização de 100% do combustível (EMTU/SP, 2014, p.29).

Destacando ainda, que assim como o etanol, “o diesel de cana apresenta custos elevados para a operação, devido à necessidade de grande quantidade da sua produção (EMTU/SP, 2014, p.29).”

Figura 7 - Diferenças de produção de açúcar, etanol e diesel



Fonte: (OLIVEIRA, 2008).

Na figura 7, destacam-se os diferentes processos de produção para a obtenção do açúcar, etanol e diesel da cana de açúcar.

Tabela 7 - Características determinantes das tecnologias veiculares

Tecnologia Veicular	Características Determinantes
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> - Novas tecnologias para motores diesel são amplamente desenvolvidas e testadas; - Redução de emissões (catalizadores reduzem HC, CO e NOx e filtros material particulado); - Baixo custo de implantação.
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> - Boa lubrificidade melhora rendimento no motor, além de ser compatível com a maioria dos motores; - Redução das emissões de CO₂, hidrocarbonetos e MP; zero emissão de SO₂; - Maior segurança quanto ao abastecimento, já que reduz a dependência do petróleo.
Diesel de Cana de Açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Não requer adequações mecânicas nos motores, nem na infraestrutura de abastecimento; - Redução da emissão de poluentes, NOx e MP e de CO₂; - Reduz a dependência de petróleo.

Fonte: (EMTU/SP, 2014).

Nas tabelas 7 e 8 foram abordadas as características determinantes e as dificuldades da tecnologia tradicional a diesel e das tecnologias associadas a esse combustível fóssil, com destaque ao Biodiesel que busca melhorias na questão da poluição e dos estudos do Diesel da Cana de Açúcar, com probabilidades futuras da substituição do diesel.

Tabela 8 - Dificuldades associadas às tecnologias de propulsão

Tecnologia Veicular	Características Determinantes
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> - Catalizadores e filtros aumentam a necessidade de manutenção; - Catalizadores e filtros podem aumentar o consumo de combustível; - Aumento de custo em relação ao veículo a diesel atual.
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> - Para misturas acima de 20% são necessárias alterações nos motores e na infraestrutura de abastecimento; - Aumento das emissões de NOx e do consumo de combustível; - Custo mais elevado em relação ao diesel.
Diesel de Cana de Açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Mercado ainda não consolidado. Falta de concorrência na fabricação do combustível; - Custo elevado do combustível.

Fonte: (EMTU/SP, 2014).

4.4 Tecnologias de ônibus testadas no Brasil

As tecnologias alternativas ao diesel, que tragam menores impactos, decorrentes da poluição, à saúde e ao meio ambiente, têm sido estudadas e de certa forma foram testadas no Brasil, concluindo-se que algumas experiências realizadas ou em desenvolvimento, nas diversas tecnologias, são detalhadas a seguir, no contexto da época, das evoluções técnicas e dos entraves na sua aplicação efetiva, como alternativa de tecnologia menos poluidora.

4.4.1 Etanol

Abordou-se uma primeira experiência, conforme cita a EMTU/SP (2014, p.14), “em Curitiba entre 1995 e 1998 em uma linha turística, mas não deu prosseguimento à utilização do combustível.

Em relação a demais testes, a EMTU/SP (2014, p.14) realizou testes entre 2008 e 2009, mas a experiência também não resultou em ampliação do uso da tecnologia.

Na questão dos testes com esse combustível:

Os testes, com o veículo entre 2008 e 2010, não envolveram os parâmetros de emissões em operação, houve apenas a homologação do motor em operação que atendesse à legislação vigente à época dos testes. Considerando-se que somente em 2012 entrou em vigor a fase P-7, equivalente ao padrão de emissão Euro 5, os ônibus movidos a etanol já estavam enquadrados na fase posterior. (EMTU/SP, 2014, p.14).

Na questão da adequação, segundo a EMTU/SP (2014, p.14), “a adaptação do motor ciclo diesel para o etanol não exigiu mudanças significativas, a não ser na taxa de compressão de 22:1, injeção eletrônica e injetores com maior capacidade volumétrica.”

O maior problema detectado foi em relação ao custo e origem do aditivo, adicionado na proporção de 5%, necessário para a partida dos motores que conforme a EMTU/SP (2014, p.14), “a única empresa fornecedora do aditivo para a frota de cerca de 600 ônibus a etanol de Estocolmo foi a mesma a fornecer para a realização dos testes deste projeto.”

Por apresentar menor conteúdo energético, na comparação com o diesel, esses veículos demandam um consumo maior, necessitando com isso tanques de combustível com maior capacidade.

Uma das iniciativas, nos testes da implantação dessa tecnologia, foi o Projeto BEST (BioEtanol para o Transporte Sustentável). Esse projeto destacou as vantagens dos ganhos ambientais, contudo apontou as barreiras decorrentes dos custos da produção dos motores, em face das tecnologias ainda não dominadas no Brasil, e do aditivo.

Na questão da efetiva implantação dessa tecnologia, abordou a EMTU/SP (2014, p.14), “portanto, a implantação desta nova tecnologia no transporte público urbano depende de incentivos promovidos pelo setor público brasileiro, até que seu custo seja diminuído quando atingir uma economia de escala.”

Segundo a EMTU/SP (2014, p.14), “apesar do Brasil ser líder mundial em produção de etanol, não são muitos os testes com ônibus movidos a etanol no país.”

4.4.2 Hidrogênio

Em relação a essa tecnologia, destacou-se o projeto “Ônibus Brasileiro a Hidrogênio”, contemplando a aquisição, operação e a manutenção de até quatro ônibus com essa tecnologia, e ainda, segundo a EMTU/SP (2014, p.15):

Nesse contexto foi contemplada, a instalação de uma estação de produção de hidrogênio por eletrólise a partir da água e abastecimento dos ônibus, além de acompanhamento e verificação do desempenho dos veículos que serão utilizados no Corredor ABD (EMTU/SP, 2014, p.15).

Na questão da época e percurso realizados foram apontados, segundo a EMTU/SP (2014, p.15), “no período entre 2010 e 2011, o veículo percorreu 903,7 km em 23 dias de operação, sendo que durante 18 dias foram transportados 1.047 passageiros. O consumo médio de H₂, no período em que o veículo operou com passageiros, foi de 10,40 kg/100 km.”

As conclusões apontadas, quanto aos veículos testados, na questão da manutenção, segundo a EMTU/SP (2014, p.15), “Na questão da manutenção, os reparos foram geralmente rápidos e não paralisaram o veículo por longos períodos. Porém, foi ressaltada a importância da disponibilidade de peças e de sistemas de reposição.”

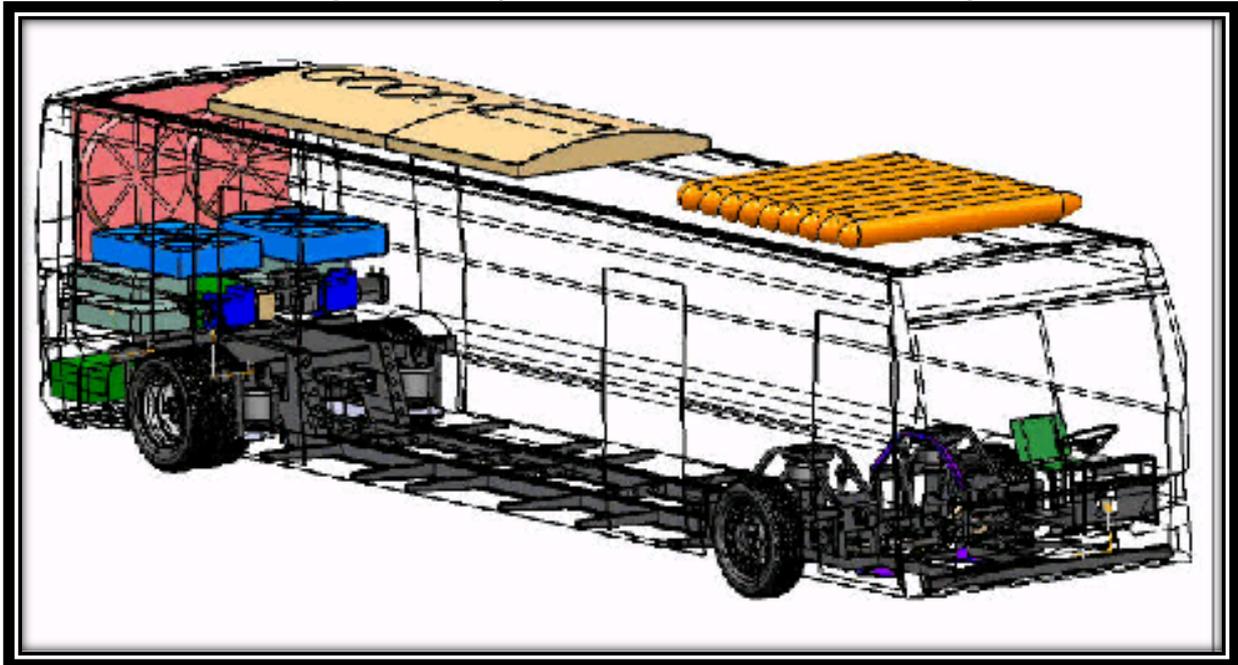
Na questão da viabilidade econômica, foram apontadas algumas dificuldades para a implantação dessa tecnologia, sobretudo quanto ao desenvolvimento de uma infraestrutura de postos de abastecimento, de armazenamento dessa tecnologia, e demais melhorias, segundo a EMTU/SP (2014, p.53):

Ainda assim, o custo dos ônibus a hidrogênio é muito elevado, sendo os mais caros de todas as tecnologias em comparação. O peso dos tanques de hidrogênio é bastante superior a um tanque de combustível líquido, e não existe em nível mundial um mercado consolidado de hidrogênio para uso automotivo.

Ainda, nessa questão econômica e no que se refere a certos metais preciosos, que são itens de importação, segundo a EMTU/SP (2014, p.53):

Por fim, as células a combustível estão em fase de desenvolvimento, e seu preço é elevado. Um aumento do preço da platina ou outro metal nobre usado como catalisador da combinação química do hidrogênio com o oxigênio encareceria significativamente as células a combustível.

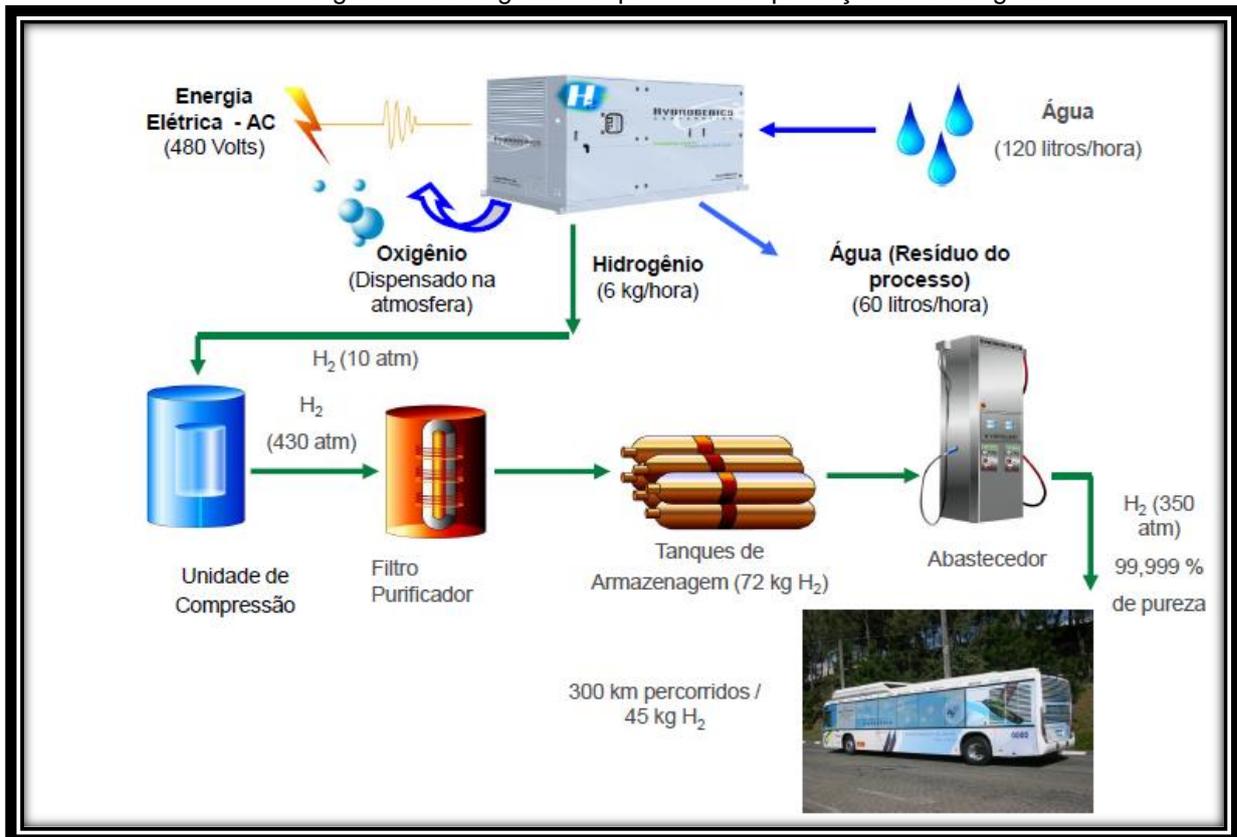
Figura 8 – Esboço do chassi do Ônibus movido a Hidrogênio



Fonte: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/MarcosCorreiaLope_EMTU_1256218786.pdf

A figura 8 apresenta o esboço do chassi do modelo padrão do ônibus com tecnologia a Hidrogênio, com o aspecto geral da distribuição de componentes e sistemas na carroçaria do veículo, com destaque à distribuição de cargas e equilíbrio do centro de gravidade.

Figura 9 - Fluxograma de processo na produção do Hidrogênio



Fonte: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/MarcosCorreiaLope_EMTU_1256218786.pdf

A figura 9 mostra o fluxograma da produção de H₂ para abastecimento dos ônibus à Hidrogênio.

4.4.3 Trólebus

Em relação a essa tecnologia, destacando a quantidade e percurso, aponta a EMTU/SP (2014, p.15), “dispunha de 80 veículos do tipo trólebus (43 Padron e 37 articulados), todos operando no Corredor ABD (Santo André, São Bernardo e Diadema). Essa frota de trólebus, operada no Corredor ABD, percorreu anualmente cerca de 4,5 milhões de quilômetros.”

Contudo essa tecnologia apresentou problemas na sua infraestrutura e na sua logística de operação, ocorrendo com isso uma redução nos investimentos para o aumento de sua frota, que estão relacionadas:

Os principais pontos negativos do Trólebus estão relacionados à dependência da rede aérea. Ela exige manutenção frequente e tem alto custo de implantação. A dependência da rede dificulta a flexibilidade de alterações de itinerário e as possibilidades de ultrapassagem (na operação normal e em casos de quebra). E o impacto visual negativo da rede aérea, especialmente em áreas urbanas e centros históricos das cidades, é outra desvantagem desta tecnologia. EMTU/SP (2014, p.51- 52):

Uma das questões relevantes apontadas, em relação à energia de abastecimento, que também inviabilizou o aumento da sua frota:

[...] mas existem questões quanto ao fornecimento de energia que devem ser tratadas com cuidado. Com a privatização do setor de distribuição, as empresas que assumiram as redes se desinteressaram pela continuidade do atendimento ao sistema. Mesmo assim, a contratação da energia deve ser muito bem tratada, tanto na garantia de fornecimento, quanto ao preço a ser praticado. (EMTU/SP, 2014, p.66).

4.4.4 Elétrico a Bateria

Essa tecnologia passou por processos de testes no passado, conforme apontado pela EMTU/SP (2014, p.18), “desde fevereiro de 2014, o ônibus operava como transporte regular de passageiros. Percorreu um trecho de 11,5 km do Corredor ABD, na extensão que ligava o Terminal Diadema à Estação Morumbi da CPTM em São Paulo.”

Na época e em relação a autonomia, aponta a EMTU/SP (2014, p.18):

[...] a operação foi planejada para permitir, ao longo do dia, recargas rápidas, cada uma com duração de até quinze minutos, no Terminal Diadema, totalizando diariamente 180 km de rodagem, incluindo deslocamentos entre a garagem e o terminal.

Em relação a essa tecnologia, destaca-se no município de São Paulo uma frota de veículos elétricos a bateria:

No caso de São Paulo, a prefeitura convidou todas as empresas atuantes no sistema de transporte público para participar do projeto. Nove manifestaram interesse. Uma delas foi a Transwolff, a companhia que recebeu os três primeiros dos 15 novos ônibus elétricos. Eles irão rodar a partir de março na linha 6030/10 (Unisa Campus 1 - Terminal Santo Amaro). (ALECRIM, 2019, on-line).

Quanto às características desses veículos ressalta-se que:

[...] os 15 ônibus do projeto-piloto contam com o chassi BYD D9W, mas carroceria produzida pela Caio Induscar. Trata-se de um modelo chamado Millennium que traz vidros colados nas janelas, ar condicionado, wi-fi, portas USB para recarga de celular, itinerário em LED e poltronas ergonômicas. (ALECRIM, 2019, on-line).

Ressalta-se ainda que:

[...] a chinesa BYD entregou à prefeitura de São Paulo os três primeiros ônibus que farão parte de um projeto-piloto de abastecimento de frota que envolve energia solar. A iniciativa contará com 15 veículos 100% elétricos que começarão a circular no sistema de transporte público da cidade nos próximos meses. (ALECRIM, 2019, on-line).

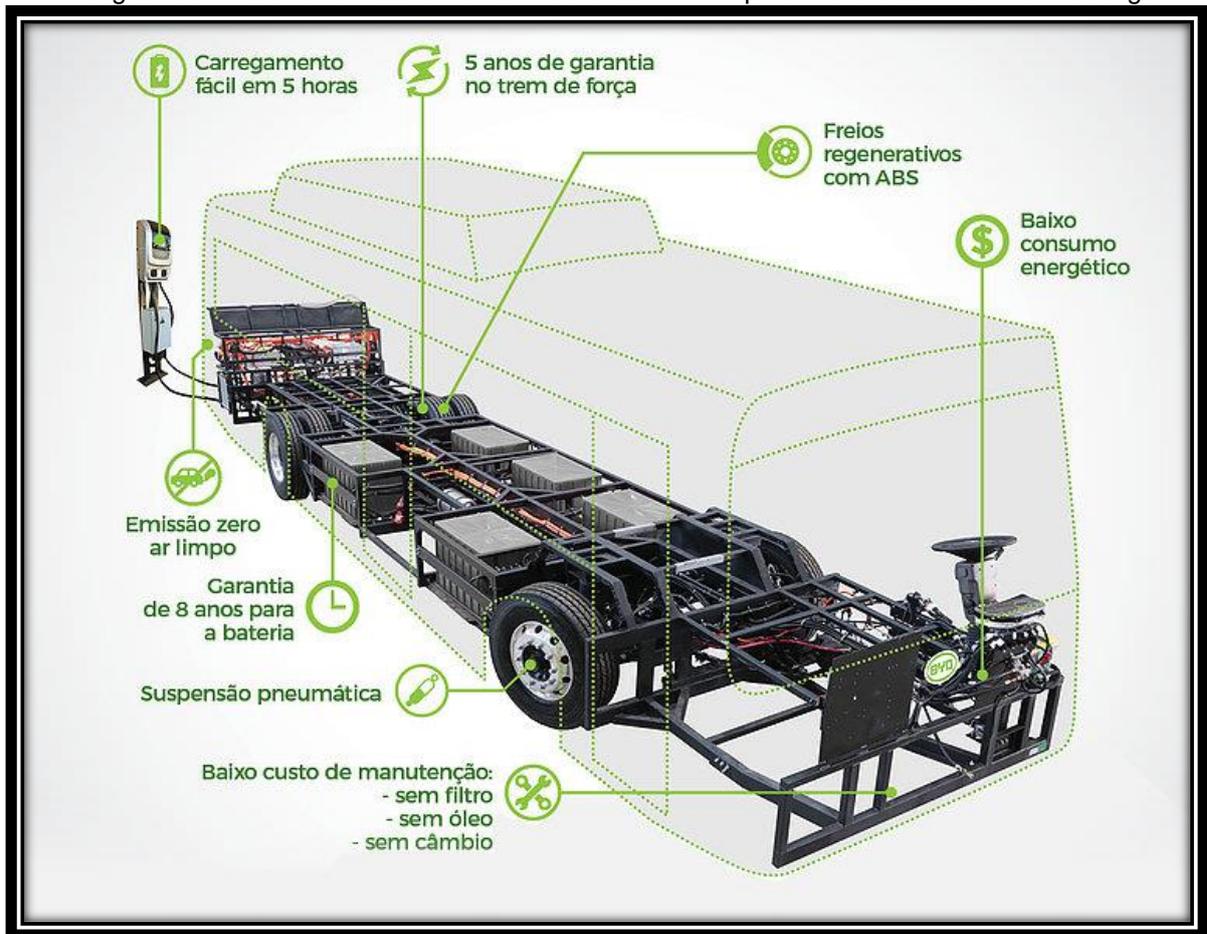
Figura 10 - Ônibus elétrico a bateria no município de São Paulo – modelo D9W - BYD



Fonte: (ALECRIM, 2019).

A figura 10 apresenta o modelo padrão do ônibus com tecnologia Elétrico a Bateria, utilizado nos testes da EMTU, com destaque ao piso baixo para melhor acessibilidade dos passageiros com necessidades especiais.

Figura 11 - Chassis do ônibus elétrico a bateria e os aspectos relevantes dessa tecnologia



Fonte: BYD (2019, on-line).

A figura 11 mostra o chassis completo do ônibus elétrico a bateria com todas as partes incorporadas e os aspectos favoráveis dessa tecnologia, com destaque a seu eixo traseiro, onde está localizado o banco de baterias. Segundo dados técnicos da BYD, nesse modelo ressalta-se o peso do chassis, sendo na parte dianteira de 1290 kg e na parte traseira de 7.000 kg, devido ao condicionamento das baterias.

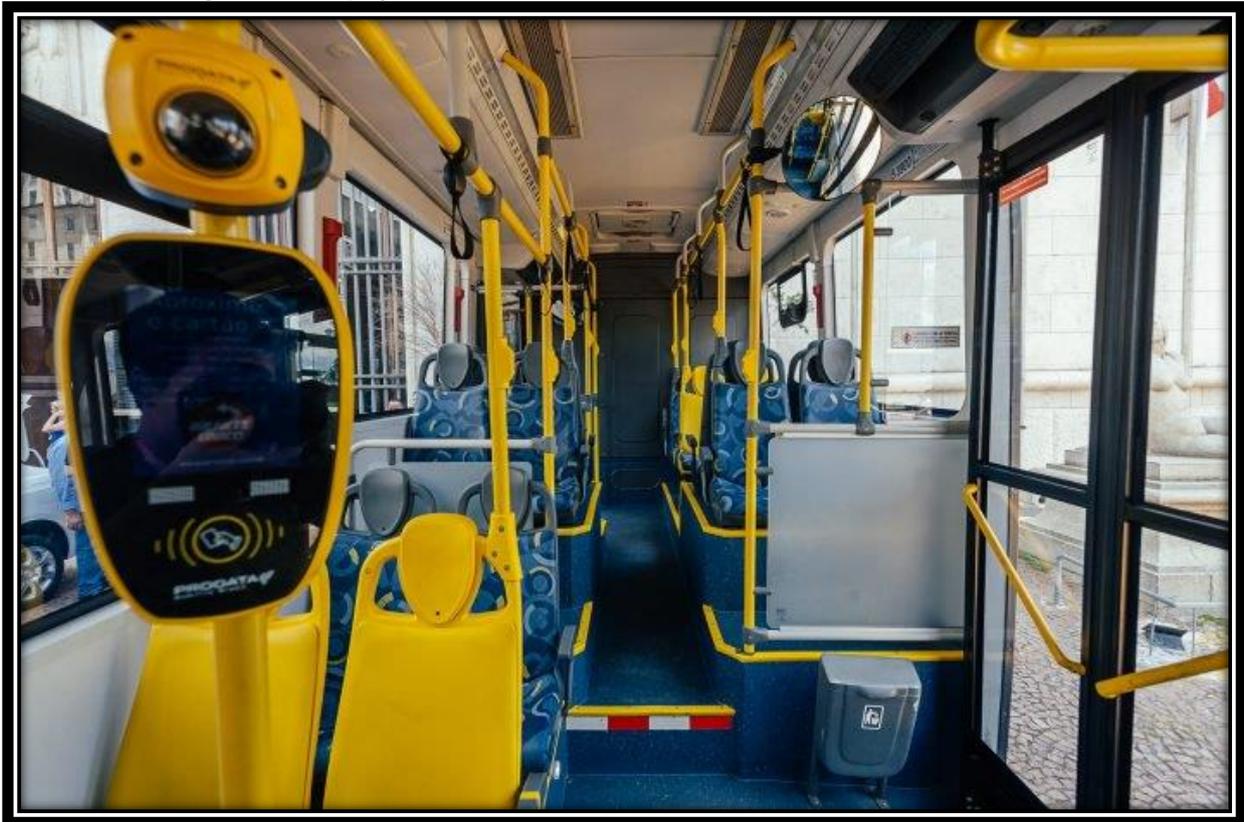
Figura 12 - Parte interna do ônibus elétrico a bateria, destaque do painel e volante



Fonte: (ALECRIM, 2019, on-line).

Na figura 12, nota-se que do ponto de vista do espaço, necessário ao trabalho do condutor, um certo conforto, decorrente da não necessidade do câmbio e do motor a combustão, necessários nos veículos a diesel. A ausência dessas partes torna o trabalho do condutor menos cansativo e mais confortável. Em face da ausência, dos itens referidos, e do ponto de vista dos passageiros destaca-se um maior espaço para circulação quando do acesso ou saída desses coletivos.

Figura 13 - Espaço interno de um ônibus elétrico a bateria da BYD – modelo D9W



Fonte: (ALECRIM, 2019, on-line).

A figura 13 aponta o espaço interno, com destaque ao leiaute da distribuição dos bancos, que propiciam um espaço maior para acesso dos usuários e eventual acomodação de acessórios, objetivando o atendimento dos passageiros com dificuldades de locomoção.

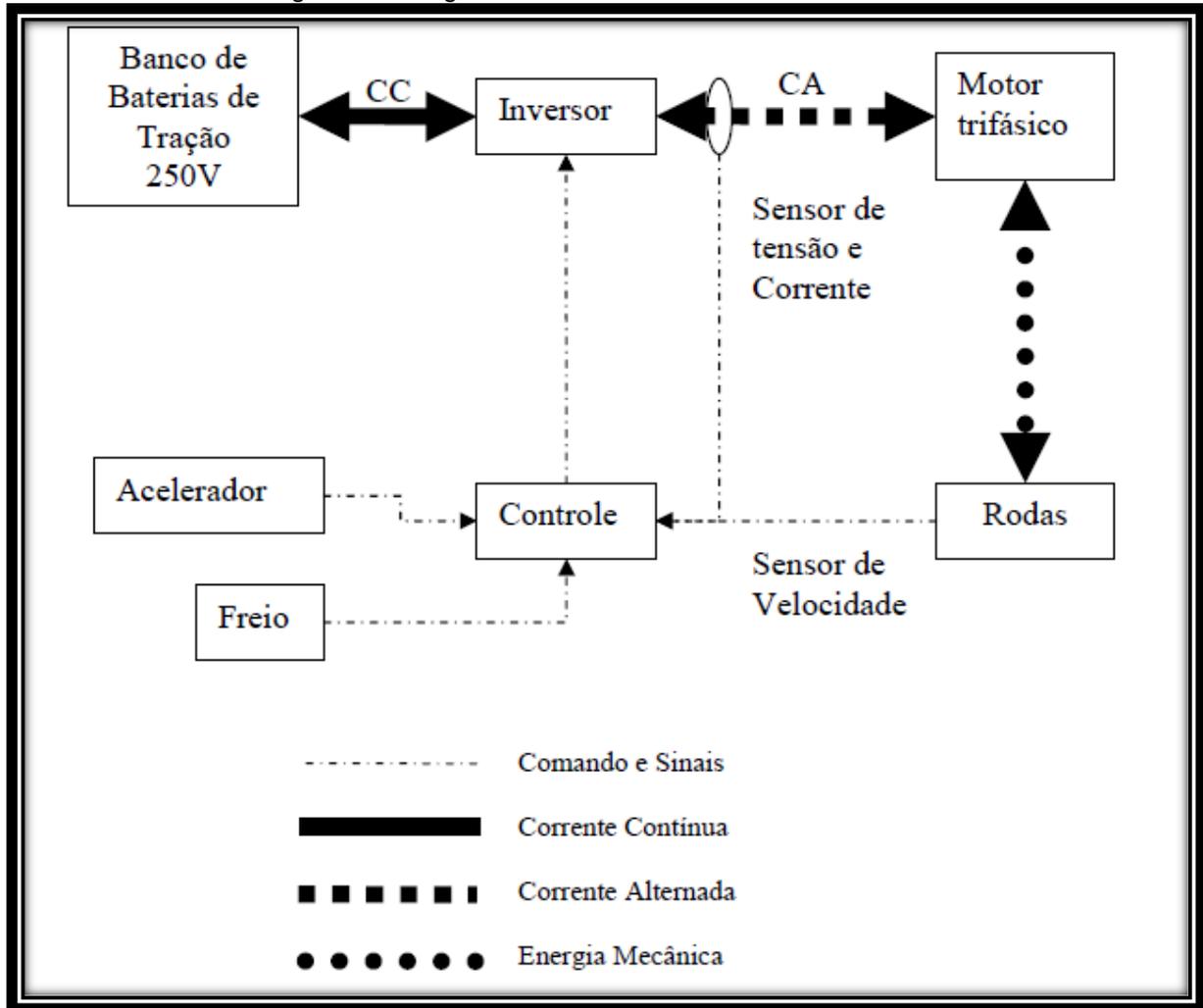
Figura 14 - Espaço do conjunto de baterias e circuitos eletrônicos, instaladas em ônibus elétrico - modelo D9W - BYD



Fonte: (ALECRIM, 2019, on-line).

A figura 14 destaca o espaço ocupado pelo banco de baterias e os demais circuitos eletrônicos, típicos dos ônibus elétricos, que não estão em contato direto e acessível aos passageiros, diferente das condições dos ônibus com motores a explosão, típico dos veículos a diesel, que propiciam ao ambiente interno um aquecimento, por vezes insuportável aos passageiros e, sobretudo, ao condutor que fica próximo a esse motor.

Figura 15 - Diagrama de blocos de funcionamento de um veículo elétrico



Fonte: (NOCE, 2007, on-line).

Em relação ao funcionamento básico de veículo elétrico, e conforme diagrama de blocos da figura 15, aponta-se que:

A seta dupla entre o banco de baterias e o inversor, entre este e o motor trifásico e entre o motor trifásico e as rodas indica que o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos, ou seja, o banco de baterias de tração provê energia para a movimentação do veículo e, quando em frenagem, recupera parte da energia cinética do veículo sob a forma de energia eletroquímica, no banco de baterias de tração. (NOCE, 2007, p.29).

4.4.5 Híbrido

Os ônibus com tecnologia híbrida, Diesel e Elétrico, apresentam uma novidade, no sentido de sua partida, que segundo a fabricante Volvo - Ônibus Brasil (2019, on-line), "Ao arrancar, o ônibus é movido pelo motor elétrico. O alto torque proporciona

uma partida macia e silenciosa. A partir do momento em que uma determinada velocidade é atingida, aproximadamente 20 km/h, o motor diesel entra em operação.”

Na questão das vantagens quanto ao controle da poluição, conforme a Volvo - ônibus Brasil (2019, on-line), “Quando o veículo está parado, seja no trânsito, em paradas de embarque ou nos semáforos, o motor diesel é desligado”

Destaca-se ainda, a recarga de parte da bateria no percurso, no momento do uso do diesel, aumentando com isso a sua autonomia.

Segundo a EMTU/SP (2014, p.17), “na época, a frota dispunha de 14 veículos híbridos, sendo 13 do tipo Padron e 1 articulado. Todos esses se encontravam em operação no Corredor ABD, sob a responsabilidade da empresa Metra.”

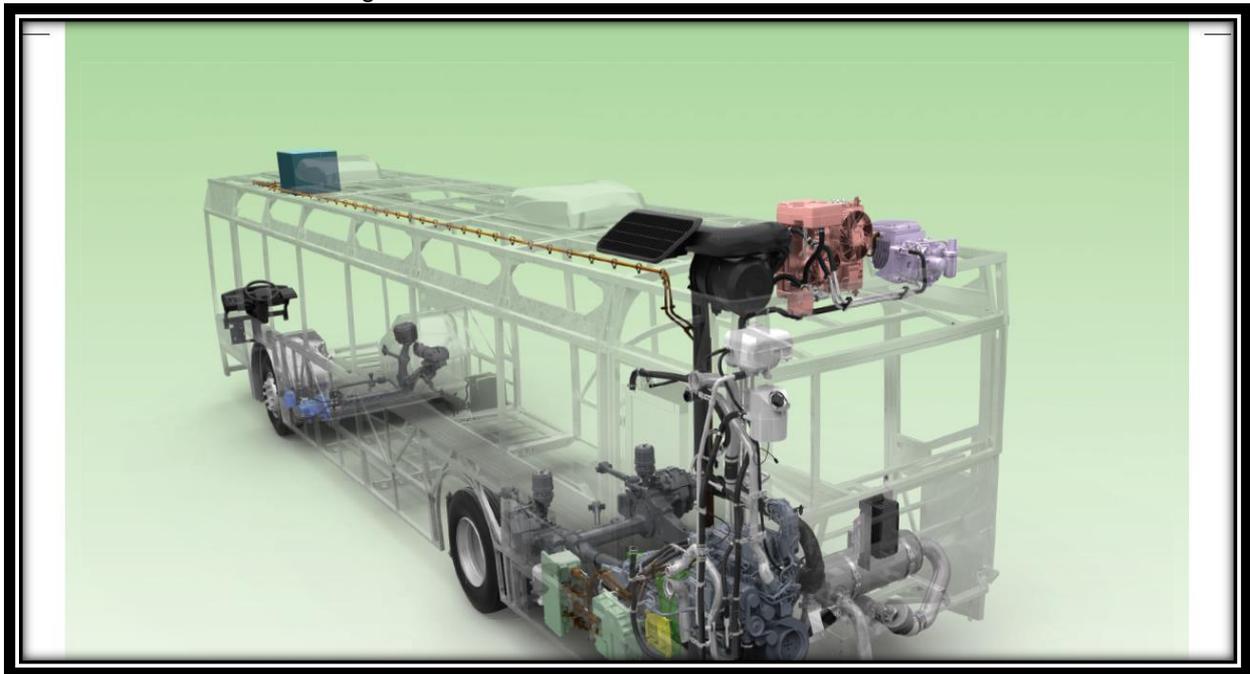
Em relação à concessionária, época da operação, à quantidade dos veículos e ao tempo de vida desses veículos, foram apontados os seguintes dados:

A operação de veículos híbridos pela Metra começou em 2003, com 3 veículos Padron. Posteriormente, o ônibus articulado entrou em operação em 2008, mais 2 Padron em 2010 e 7 em 2011. Por fim, mais 1 veículo foi adicionado à frota em 2012, sendo que este já atendia a padrões da fase P-7 do PROCONVE. Na época, trabalhava-se com uma vida útil estimada de 20 anos. A tendência foi que os veículos dessa tecnologia poderiam chegar a 30 anos. (EMTU/SP, 2014, p.17).

Destacou-se também a questão do desempenho, km/l, dessa tecnologia:

Os veículos do tipo Padron apresentaram um desempenho de 1,66 km/l e estimou-se que uma nova versão do veículo atinja um desempenho de 1,89km/l, cerca de 20% a mais que um veículo diesel equivalente. Informações referentes à operação indicaram ainda economia de 30% em custos de manutenção do veículo híbrido também em relação a um veículo diesel de características similares. (EMTU/SP, 2014, p.17).

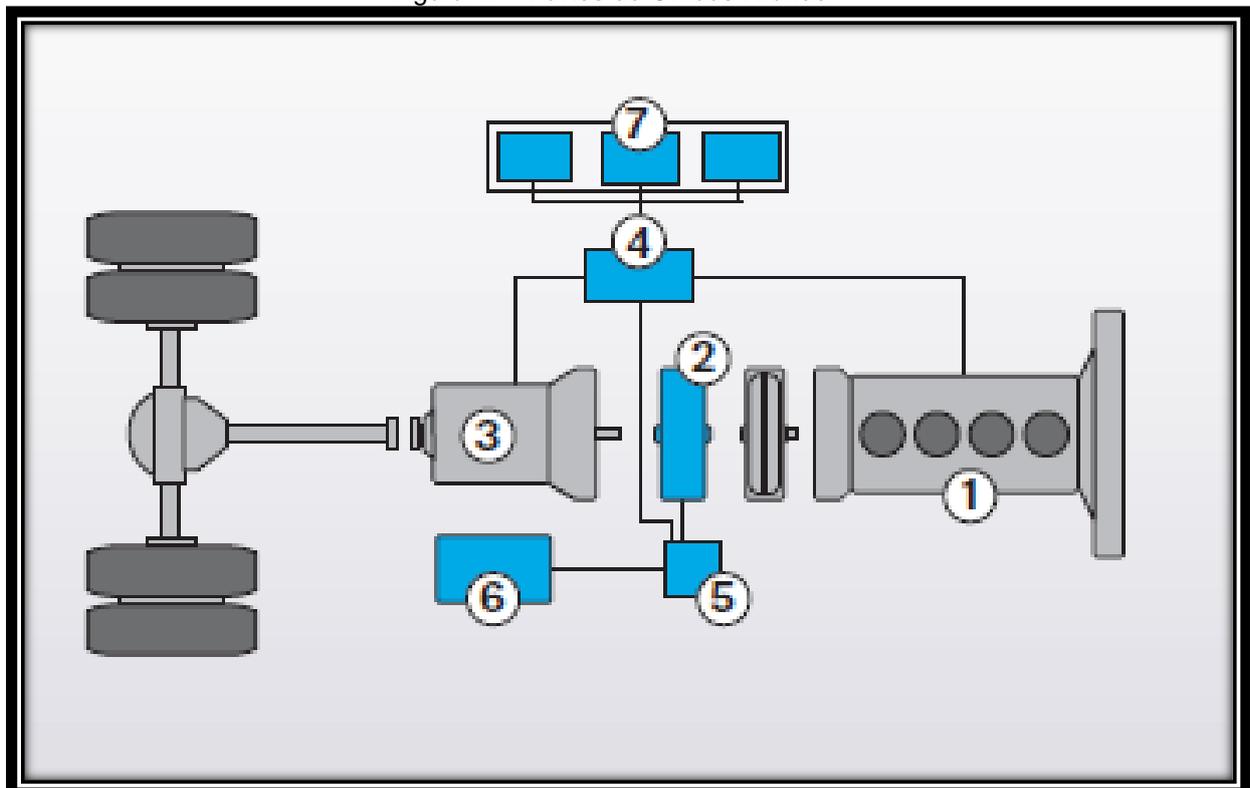
Figura 16 - Chassi do Ônibus Híbrido Diesel - Elétrico



Fonte: (VOLVO – ÔNIBUS BRASIL, 2019).

Na visualização do chassi, conforme figura 16, destacam-se as partes dos componentes dos sistemas do ônibus híbrido.

Figura 17 - Partes do Ônibus Híbrido



Fonte: (VOLVO – ÔNIBUS BRASIL, 2019, on-line).

Em relação as funções das partes do ônibus híbrido, conforme figura 17, a Volvo - ônibus Brasil (2019), aponta que:

1 - Motor diesel

O Volvo D5E é um motor diesel de quatro cilindros, 5 litros, com potência de 210 cv.

2 - Motor/alternador elétrico

O motor elétrico I-SAM (Integrated Starter Alternator Motor) proporciona potência correspondente a 160 cv e torque de 800 Nm. Durante as frenagens, o motor opera como gerador de energia e carrega as baterias do veículo.

3 - Transmissão

A transmissão Volvo I-Shift de 12 marchas é extremamente eficiente para soluções híbridas. O software da caixa interage com o sistema híbrido, de forma a otimizar o desempenho e a eficiência em tráfego urbano.

4 - Unidade de gestão de trem de força

(Powertrain Management Unit – PMU) Controla o carregamento das baterias, acionamento e desacionamento das duas fontes de potência e o modo de troca de marchas.

5 - Conversor de energia

Proporciona a conversão CC/CC 600 V/24 V.

6 - Baterias

Baterias de íon de lítio, com controle de temperatura, proporcionam armazenamento eficiente de energia. O controle de temperatura inclui tanto a operação de aquecer quanto a de resfriar a bateria.

7 - Auxiliares elétricos

A energia recuperada pela frenagem é usada em parte para alimentar componentes auxiliares como o compressor de ar, o controle de climatização e os servo-auxiliares da direção. Tudo com mais eficiência do que os sistemas de alimentação convencional.

4.4.6 Gás Natural

Na questão da efetiva implantação ocorreram certos entraves:

A experiência de introduzir o GNV na frota de ônibus regular no município de São Paulo não foi bem-sucedida no passado, devido a problemas tecnológicos dos motores, destacando que esse fato poderia aumentar a resistência dos donos de frotas a implantar esta tecnologia.” (EMTU/SP, 2014, p. 30).

Destaca-se que, segundo a (EMTU/SP, 2014, p. 30), “entre 2011 e 2012, foram encontrados testes em andamento em Campinas, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, todos utilizando apenas um veículo como protótipo.”

Tabela 9 - Características determinantes das tecnologias veiculares

Tecnologia Veicular	Características Determinantes
Gás Natural	- Possibilidade de adaptação e reconversão de veículos a diesel; - Redução da emissão de poluentes (CO, NOx, SO ₂ , HC e MP) e de CO ₂ ; - Baixo custo de manutenção do veículo em relação ao diesel.
Etanol	- Requer poucas adequações mecânicas nos motores e na infraestrutura de distribuição e abastecimento; - Redução na emissão de poluentes (CO ₂ , HC e MP, zero emissão de SO ₂ ; - Já é produzido em larga escala, com infraestrutura de produção e distribuição, reduz a dependência de petróleo.
Trólebus	- Maior torque nas subidas, maior rapidez na aceleração e desaceleração; - Emissão local de poluentes e ruídos igual a zero; - Baixo custo de manutenção do veículo em relação ao diesel.
Elétrico a Bateria	- Boa aceleração e potência; - Capacidade de recuperação de parte da energia gasta, emissão local de poluentes e ruído igual a zero; - Baixo custo operacional e de manutenção.
Híbrido	- Maior eficiência energética em relação ao diesel; - Possibilidade de redução de emissões, se ajustado a condições adequadas de potência; - Baixo custo de manutenção do veículo.
Hidrogênio	- Alta eficiência energética; - Baixo nível de ruídos e vibração. O único resíduo emitido é vapor d'água; - Área promissora devido a grandes esforços em pesquisa sobre células a hidrogênio.

Fonte: (EMTU, 2014).

Na tabela 9, com destaque à tecnologia de ônibus elétrico a bateria, aponta-se a produção de energia, no momento das frenagens, quando é possível fazer a recarga de parte da energia utilizada pelas baterias, em cerca de 30%. Destacou-se as vantagens do baixo custo operacional e da manutenção, que compensam, no tempo,

o custo maior da aquisição desse tipo de tecnologia, com zero emissão de poluentes e de ruídos.

Tabela 10 - Dificuldades associadas às tecnologias de propulsão

Tecnologia Veicular	Características Determinantes
Gás Natural	- Tempo de abastecimento lento em relação ao diesel; - Penetração insuficiente das redes de distribuição de gás no Brasil; - Combustível não renovável; - Custos adicionais significativos de infraestrutura de abastecimento.
Trólebus	- Inflexibilidade de alteração de rotas; - Impacto visual negativo; - Custo adicional relacionado a manutenção da rede aérea, além do alto custo de implantação.
Etanol	- Aumento do desgaste de alguns materiais (juntas, condutos etc...); - Aumento de consumo; - Custo elevado do aditivo.
Bateria	- Necessidade de instalações específicas para fornecimento de eletricidade; - Autonomia reduzida em relação às demais tecnologias; - As baterias são resíduos altamente tóxicos e de difícil reciclagem; - Custo elevado do veículo e variações do preço da eletricidade.
Híbrido-Elétrico	- Veículos mais pesados devido ao motor elétrico, gerador e acumulador de energia; - As baterias são resíduos altamente tóxicos e de difícil reciclagem; - Custo elevado do veículo
Hidrogênio	- Mercado ainda não consolidado, tecnologia de armazenamento complexa; - Custo mais alto por km rodado em relação aos combustíveis comumente utilizados; - Preço bastante elevado do veículo. São os mais caros das tecnologias em comparação.

Fonte: (EMTU, 2014).

Na Tabela 10, destacam-se as principais dificuldades associadas às tecnologias abordadas. Em relação à tecnologia elétrico a bateria, na abordagem das dificuldades a serem superadas ressalta-se que:

- Na questão das instalações específicas, para o fornecimento de eletricidade, pode-se pensar nas minis e microusinas de geração de energia, com o conceito da Geração Distribuída, adotando a energias renováveis, sobretudo a solar, com a instalação em pontos estratégicos para recarga das baterias e possibilitando, ainda, créditos no Sistema Elétrico de Potência, evitando a questão das variações de custo da energia, fornecida pelos meios tradicionais;

- A questão da autonomia pode ser resolvida com esses pontos de recarga e a utilização de geração independente de energia, com o conceito de Geração Distribuída e, ainda, com as novas tecnologias de fabricação das baterias, tornando-as mais leves e com a autonomia de percurso ampliada;

- Face à questão do custo de aquisição dessa tecnologia pode-se pensar que ao longo do tempo, cerca de 7 anos, esse custo é compensado pelos itens operação e manutenção da tecnologia elétrica.

4.5 Desafios à expansão das frotas de ônibus elétricos a bateria

Atualmente os desafios para a expansão das frotas de ônibus elétricos a bateria, estão relacionados ao desenvolvimento da tecnologia, custos e modalidades de aquisição, recarga, e sobretudo da conscientização no que se refere aos seus benefícios, na questão ambiental e da saúde.

4.5.1 Perspectivas mundiais aos ônibus Elétricos a Bateria

Na questão da previsão da quantidade de ônibus elétrico, no mundo, aponta Bazani (2017a), “no mesmo estudo, a Bloomberg previu que em 2025 haverá 1,2 milhão de ônibus urbanos 100% elétricos no mundo, 99% deles rodando na China. Esse número será o triplo dos 386 mil elétricos de 2017, e representará 47% da frota global de ônibus urbanos.”

Nessa questão, da maior quantidade de ônibus elétrico a bateria, a China seguirá dominando o setor de transporte público com tecnologia elétrica, alcançando uma grande vantagem em relação aos outros países e que, segundo Bazani (2017a), “a China vai liderar esse mercado, graças ao forte apoio doméstico e às agressivas metas de níveis de poluição nas cidades.”

O aumento da sua frota tem se consagrado em países com sérios problemas de poluição e decorrentes, ainda, das questões de atendimento da Agenda 2030 da ONU. A China tem se destacado na produção e na utilização dessa tecnologia:

O estoque global de ônibus elétricos com bateria chegou em cerca de 345.000 veículos em 2016, o dobro do número em 2015. Apesar de questões de classificação de dados potencialmente significativas, a China emerge como a líder global na eletrificação de ônibus. De acordo com as estatísticas disponíveis, a frota de ônibus elétricos na China chegou a 343.500 unidades em 2016. Nos últimos anos foram incluídas 300 mil unidades. Dentro da China, Shenzhen é uma das cidades mais ambiciosas do mundo em relação à eletrificação e modernização de seus sistemas de ônibus. Em 2016, centenas de ônibus elétricos já estavam em operação. Shenzhen também definiu o objetivo de ter uma frota de ônibus 100% elétrica em 2017. (BAZANI, 2017a, on-line).

Em relação a Europa:

A Europa representou 1273 veículos no estoque de ônibus elétrico a bateria global em 2016, enquanto os Estados Unidos representaram 200 novos coletivos. O estoque europeu de ônibus elétricos mais do que duplicou a partir de 2015, sugerindo que o mercado está indo além da fase de demonstração para desenvolvimento comercial. (BAZANI, 2017a, on-line).

Segundo Bazani (2017a), no EUA o fabricante de ônibus elétrico Proterra dobrou suas vendas em 2016 em comparação com 2015, tendo, porém, comercializado 380 veículos desde a fundação da empresa em 2004.

No caso específico de Paris, segundo Bazani (2017a, on-line):

A RATP – Régie Autonome des Transport Parisiens (Empresa Pública Autônoma dos Transportes Parisienses) cita que: O operador de transportes públicos da cidade de Paris abriu sua primeira linha de ônibus elétrico a bateria em 2016. Enquanto isso, o mesmo operador está se preparando para a disseminação da eletrificação e planos para substituir 80% de sua frota de ônibus existente por ônibus elétricos até 2025 – o que vai representar cerca de 4 000 ônibus elétricos a bateria implantada nos próximos oito anos. (BAZANI, 2017a, on-line).

No que se refere a quantidade global e ao aumento dos ônibus elétricos, segundo D’agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.9):

A frota global de ônibus elétrico em 2016 contou com 345.000 unidades, sendo 99,57% provenientes da China. Em relação a 2015, a frota global duplicou (IEA, 2017). Além disso, diversas cidades estabeleceram objetivos e metas de ampliar sua frota de ônibus elétricos.

4.5.2 Perspectivas para o Brasil aos ônibus Elétricos a Bateria

O ônibus elétrico a bateria (plug-in) possui a tecnologia de tração por motor elétrico que pode estar acoplado a um eixo de transmissão, ao diferencial e aos semieixos das rodas ou podem estar diretamente acoplados nas duas rodas traseiras, configuração que é desejável, pois além de substituir o motor do ciclo Diesel a embreagem e a caixa de marchas, também substituem o eixo de transmissão, as juntas de acoplamento, o diferencial e os semieixos das rodas, reduzindo significativamente o número de peças e componentes do sistema de propulsão.

Segundo D’agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.16), “esta configuração mais compacta é desejável em função dos benefícios esperados em termos de redução do

custo de manutenção pela redução da complexidade do sistema e no número de componentes que podem falhar.”

A equivalência de modelos entre os veículos é apresentada na Tabela 11, a seguir, onde se escolheu um ônibus elétrico a bateria (plug-in) fabricado pela empresa BYD. Para o ônibus elétrico a bateria (plug-in) a alimentação de energia é realizada por meio de baterias de íon-lítio e fosfato de ferro, que são a prova de fogo. Segundo D’agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.16),” o ônibus possui frenagem regenerativa, permitindo a recuperação parcial da energia cinética durante a desaceleração”. O ônibus elétrico a bateria BYD tem autonomia de 250 km com tempo de carga média de 5 h. Seu consumo energético é de 1,2 kWh/km.”

Tabela 11 - Ônibus elétrico a bateria e suas categorias

Modelo	Capacidade [assentos]	Piso	Motor	Comprimento [m]	Ar condicionado
K7	23		Acoplados	9	
K9, K10	40	Baixo	às rodas	13,2 e 15	Sim
K11	47-55			18	

Fonte: (D’AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

O ônibus movido à propulsão elétrica a bateria, que utiliza dois motores elétricos, instalados junto às rodas traseiras, com potência de 150 kW cada e um conjunto de baterias, instaladas no seu interior e/ou no teto do veículo, com uma potência média de 324 kWh.

A questão da recarga das baterias poderá ser feita com a utilização de energias renováveis, como, sobretudo a solar, por meio das minis e microusinas de energia, denominadas de Geração Distribuída.

A Geração Distribuída, que possibilita a geração de energia fotovoltaica ou eólica, em pontos estratégicos para recarga das baterias dos ônibus elétricos, atende à necessidade de alternativas de geração de energia.

Atualmente, existem três fabricantes de ônibus elétricos no Brasil: a Eletra, nacional; a BYD (Build Your Dream), da China; e a Volvo, da Suécia. Todas essas empresas estão dispostas a ampliar sua produção, considerando-se as perspectivas reais dessa demanda, a médio e longo prazo. Com isso, seriam gerados mais empregos, capacitação técnica e produção de energia limpa no país e a efetiva utilização das energias renováveis.

As perspectivas para o Brasil, para a implantação de ônibus elétricos, também são positivas, uma vez que as cidades estão buscando alternativas para melhorar o transporte público, ao mesmo tempo em que estabilizam os custos do sistema, segundo Moraes (2017, p.43):

Estudos feitos por agências de transporte no Brasil mostram que em dez anos de operação, os ônibus elétricos a bateria custam menos para o operador e o sistema do que os modelos movidos a diesel. Além disso, nossos chassis finalmente ganharam carrocerias locais feitas pelos parceiros Volare, Caio e Marcopolo. Assim, a BYD poderá vender seus chassis elétricos com as carrocerias que os operadores já estão acostumados a operar. Com isso, ganhamos escala, redução no custo dos ônibus elétricos a bateria e a possibilidade de os mesmos serem financiados pelo BNDES com taxas mais competitivas e maior prazo de carência. (MORAES, 2017, p.43).

No que se refere a certas características destacam-se:

[...] o ônibus, articulado, com 18 metros de extensão e capacidade para 124 passageiros, era composto pelas baterias de íons de lítio recarregáveis, do tipo das utilizadas em equipamentos eletrônicos portáteis, capazes de armazenar muito mais energia do que as baterias de tração mais comumente utilizadas. (EMTU, 2014, p.18).

No dia 21/08/19, visitou-se a Eletra, fabricante de ônibus elétrico, localizada em São Bernardo do Campo. Na oportunidade, destacou-se que os cerca de 200 trólebus, que circulam em São Paulo e no corredor ABD (Santo André, São Bernardo e Diadema), foram fabricados por essa indústria. Também, são fabricantes de ônibus elétricos a bateria e híbridos diesel-bateria. O retrofit, destaca-se como diferencial dessa indústria, consistindo em aproveitar os chassis e a carroçaria dos ônibus a diesel e adaptar para veículos elétricos a bateria ou híbridos. Nessa condição os custos ficam em média 40% mais baratos em relação a uma nova aquisição, com isso viabilizando ainda mais essa tecnologia de veículos elétricos e, ainda, contribuem para o meio ambiente, na medida que reduzem a quantidade de sucatas, decorrente do tempo de vida dos ônibus de tecnologia a diesel.

Em relação a essa empresa e nesse contexto destacou-se, ainda, o lançamento, no final de 2013, do eBUS, primeiro ônibus elétrico brasileiro, movido 100% a bateria.

Com relação à tecnologia:

Essa tecnologia é resultado de uma parceria com as empresas japonesas Mitsubishi Heavy Industries e Mitsubishi Corporation, com características de um veículo tracionado por um motor elétrico cuja única fonte de energia é um banco de baterias, instalado a bordo do veículo. É o mesmo sistema de tração de um trólebus comum, porém sem a necessidade de rede aérea externa, podendo operar em qualquer sistema viário. (ELETRA, 2018, on-line).

A fabricante Eletra, acrescenta, ainda, as vantagens desse tipo de tecnologia e de matriz energética, que segundo a Eletra (2018, on-line):

- Uma das características mais importantes do e-Bus é a emissão zero de gases poluentes na atmosfera;
- Sua fonte de energia é um conjunto de 14 baterias, que exigem apenas três horas para recarga total, garantindo autonomia operacional de 200 km;
- O próprio veículo conta ainda com um sistema de recarga rápida, que pode ser feita em 5 minutos, oferecendo mais 11 km de autonomia;
- O e-Bus é um veículo articulado de 18 m, com chassi Mercedes-Benz, carroceria Induscar/Caio e motor elétrico WEG. Tem ar condicionado e capacidade para 150 passageiros;
- A tecnologia das baterias e das estações de recarga é da Mitsubishi Heavy Industries;
- Já o chassi, carroceria e todo o sistema elétrico de tração são fabricados no Brasil. São equipamentos semelhantes aos dos trólebus desenvolvidos pela Eletra;
- A interface entre os dois sistemas foi desenvolvida pelas equipes de engenharia da Eletra e da Mitsubishi Heavy Industries.

Segundo a Eletra (2018, on-line), “Campinas é a segunda grande cidade do Brasil, depois de São Paulo, a lançar uma licitação, ainda esse ano, prevendo aumentar os seus ônibus elétricos.”

De acordo com Pelegi (2017b, on-line), “se no mercado de carros a realidade ainda esbarra nos custos finais, o transporte coletivo pode dar o tom do crescimento desta alternativa ambientalmente sustentável, com os motores elétricos crescendo no setor.”

Com a tendência de crescimento da utilização do ônibus elétrico a bateria no transporte coletivo e na conseqüente alternativa ambientalmente sustentável, segundo Bazani (2017b, on-line), “dentro de alguns meses, ônibus elétricos a bateria, cujos chassis começaram a ser fabricados em Campinas, interior de São Paulo, já

devem estar em circulação por diferentes cidades brasileiras”, e acrescenta, ainda, que em relação ao município de SP:

A cidade não conseguirá cumprir as determinações da Lei de Mudanças Climáticas, que estipula 100% de frota de ônibus não poluentes em 2018, sendo que desde 2009, data da criação da lei, 10% dos veículos deveriam ser trocados até que a meta fosse alcançada. Hoje a frota de ônibus que se enquadraria na Lei de Mudanças Climáticas não passa de 7% dos quase 14.700 coletivos municipais. A planta inaugurada em 6 de abril de 2017, faz parte do Complexo da BYD em Campinas e tem capacidade de produzir 720 chassis por ano, com três turnos de operação. (BAZANI, 2017b, on-line).

4.5.3 Custos do ônibus Elétrico a Bateria

O grande desafio está relacionado à questão dos custos na sua implantação quando comparado ao transporte tradicional, movido a óleo diesel, que é o grande vilão da poluição e do comprometimento da saúde dos cidadãos. Na questão da logística há que se promover estudos dos atuais itinerários adotados, considerando a autonomia de rodagem desse tipo de transporte, destacando com isso a infraestrutura necessária para viabilização das recargas das suas baterias. Baterias essas, que hoje representam o item mais oneroso desse tipo de transporte, face às características da sua matéria prima e da tecnologia empregada.

A Bloomberg New Energy Finance – BNEF (Bloomberg Novo Finança Energético) é uma fornecedora líder de pesquisa primária em energia limpa, transporte avançado, indústria digital, materiais inovadores e commodities.

Na questão dos custos efetivos, dos ônibus elétricos a bateria, Chediak (2018, on-line) destaca que:

A previsão da Bloomberg New Energy Finance trata apenas do preço inicial de cada veículo, e não do custo total ao longo da vida útil. Não inclui custos de manutenção e o gasto médio da eletricidade em relação ao diesel, bem inferiores nos ônibus elétricos a bateria. Ou seja, no médio prazo, mesmo tendo um preço inicial superior, os atuais ônibus elétricos tendem a ser mais econômicos do que os convencionais para o operador. (CHEDIAK, 2018, on-line).

Segundo estudos da BNEF, e divulgado no início de fevereiro, em relação aos custos dos ônibus elétricos:

O preço inicial de um ônibus totalmente elétrico a bateria no mercado mundial ficará igual ao de um similar a diesel dentro de oito anos. Isso será possível graças à queda contínua dos custos das baterias elétricas, que permitirá a equiparação do preço dos elétricos ao dos ônibus convencionais por volta de 2026. Hoje, dependendo do modelo, um ônibus elétrico a bateria pode custar mais do que o dobro do que um equivalente a diesel – a diferença está basicamente no preço das baterias. A previsão da Bloomberg trata apenas do preço inicial de cada veículo, e não do custo total ao longo da vida útil. Não inclui custos de manutenção e o gasto médio da eletricidade em relação ao diesel, bem inferiores nos ônibus elétricos a bateria. Ou seja, no médio prazo, mesmo tendo um preço inicial superior, os atuais ônibus elétricos tendem a ser mais econômicos do que os convencionais para o operador. (CHEDIAK, 2018, on-line).

No dia 29/11/2018, visitou-se a BYD, fabricante chinesa de ônibus elétrico a bateria e de painéis solares, sediada no município de Campinas. Na oportunidade constatou-se um chassi de ônibus montado, com todos os seus elementos básicos, tais como: motores, circuitos eletrônicos, pneus e rodas, sistemas de direção e de freio, quadro do chassis, suspensão traseira e dianteira, motores, eixos traseiros e dianteiros, sistema elétrico de alta tensão (banco de baterias) e demais itens de conexão, necessários a essa tecnologia. Ressaltou-se que todo o processo dessa montagem, realiza-se naquele local. A carroçaria, disponibilizada por outros fabricantes nacionais, quando incorporada aos chassis finaliza o processo da produção desse veículo. Visitou-se, ainda, o setor produtivo de painéis solares, que fabricam placas fotovoltaicas para comercialização no mercado nacional.

Ainda foi possível obter os dados atualizados, referentes aos custos de produção dessa tecnologia, conforme referido na tabela 12, a seguir:

Tabela 12 - Custos do ônibus elétrico a bateria - modelo K9W - BYD

Bateria	R\$500.000,00
Chassis	R\$350.000,00
Carroçaria	R\$250.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados fornecidos pela BYD (2018).

4.5.4 Aquisição dos ônibus Elétricos a Bateria por Financiamento

A questão do financiamento pela Agência Especial de Financiamento Industrial - FINAME do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

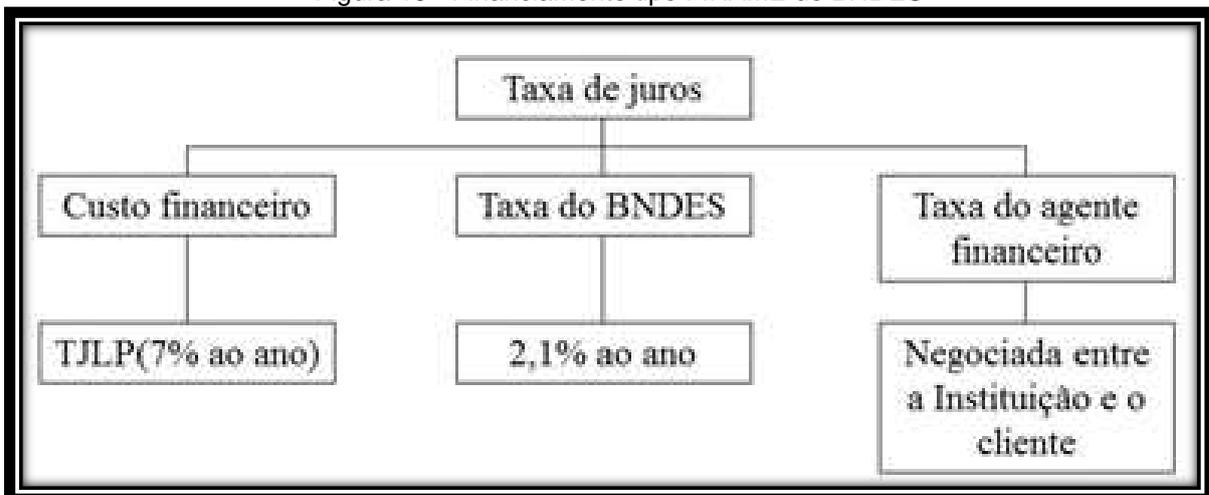
BNDES irá contribuir para a viabilização da aquisição dos ônibus elétricos e que segundo D'agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.7):

Em 2017, o prazo do financiamento pelo FINAME era de 5 anos para ônibus urbano movidos a óleo diesel e 9 anos para ônibus elétrico. Em 2018, os ônibus não poluentes ganharão prioridade, ou seja, haverá melhores condições para a compra de trólebus, ônibus elétricos, ônibus híbridos, ônibus a etanol, ônibus com células de hidrogênio, ônibus a gás natural veicular, entre outros. O prazo do financiamento pelo FINAME passará para 10 anos. D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA (2017, p.7).

Ainda, em relação as vantagens do financiamento, conforme D'agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.7), apontam que:

As linhas de financiamento FINAME são: aquisição e comercialização; produção e modernização. O financiamento de ônibus está dentro da linha aquisição e comercialização, onde a participação do BNDES no financiamento de ônibus e caminhões para micro, pequenas e médias empresas é de até 80% do investimento e para os demais clientes até 50% do investimento. D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA (2017, p.7).

Figura 18 - Financiamento tipo FINAME do BNDES



Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).
TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo.

A figura 18 mostra o esquema de financiamento, do BNDES, apresentando a distribuição das taxas de juros.

4.6 Rota 2030 - incentivo na produção de veículos elétricos a bateria

Uma das questões recentes, que vem a incentivar a produção de veículos elétricos, sobretudo os ônibus, adotadas pelo governo, foi a Rota 2030, que trata de subsídios para a produção de veículos automotores:

Quando foi assinada há pouco mais de um mês a Medida Provisória que criou o Rota 2030, nenhuma menção foi feita à adoção de metas de eficiência energética para caminhões e ônibus, majoritariamente movidos a diesel. Mas o tema entrou na pauta e um dos grupos de discussão apresentou sugestões ao governo de como fazer as medições, bem mais complexas de realizar do que em veículos de passageiros. Já existe uma minuta de portaria a ser editada pelo Ministério da Indústria (MDIC), que estabelece um cronograma para pesquisar e fixar níveis de redução de consumo e emissões de CO₂ para modelos de comerciais pesados, assim como já acontece com carros a gasolina ou etanol. (KUTNEY, 2018, on-line).

Na questão de redução de poluentes, ressalta-se que:

As possíveis diretrizes e rotas tecnológicas do programa estiveram entre os pontos centrais das apresentações e debates do 15º Fórum SAE Brasil de Tecnologias Diesel e Alternativas para Veículos Comerciais e Fora de Estrada, realizado esta semana em Curitiba (PR). Integrantes da indústria de caminhões e ônibus e especialistas que estiveram no evento esperam que as metas de eficiência sejam endereçadas pelo governo até o fim deste ano, quase ao mesmo tempo que o Proconve P8, que vai regular a próxima etapa da legislação de redução de emissões de poluentes de veículos pesados para níveis parecidos com o Euro 6, da União Europeia. A expectativa é que ambos entrem em vigor a partir de 2023. (KUTNEY, 2018, on-line).

Ainda, nessa questão, dada a necessidade de aprovação, a Rota 2030 chega finalmente a sua liberação:

[...] em prazo relâmpago, de 22 minutos de sessão, o Senado aprovou nesta quinta-feira, 8, a medida provisória (MP) que cria o Rota 2030, programa de incentivo às montadoras para investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Menos de uma hora depois, o decreto regulamentando a medida foi assinado pelo presidente Michel Temer, que trouxe na bagagem a cópia do documento na viagem de Brasília a São Paulo, onde participou da abertura do Salão do Automóvel. Cálculos da Secretaria da Fazenda indicam que a renúncia fiscal pode chegar a R\$ 2,1 bilhões. (SILVA; WETERMAN, 2018, on-line).

- Propostas da Rota 2030, segundo Silva; Weterman (2018):
- R\$ 1,5 bilhão, que serão devolvidos por ano em créditos tributários para empresas que investirem pelo menos R\$ 5 bilhões em pesquisa e desenvolvimento;
- De 0,8 a 1,2 % em 2022, do faturamento anual que devem ser investidos para receber os incentivos tributários;
- De 10,2 a 12% dos investimentos serão convertidos em créditos tributários que poderão ser abatidos do pagamento do IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica e CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido);
- IPI de 7% para carros híbridos e elétricos. A alíquota atual é de 25%;

- 15 anos será o prazo para as empresas abaterem os créditos tributários nos 3 primeiros anos do programa;
- 20% da receita será a multa para as montadoras e importadores que venderem carros fora de um padrão mínimo de segurança e eficiência; e
- Até 2022 as empresas terão de reduzir emissões em 11% sobre índices atuais e produzir metade dos carros com mais equipamentos de segurança. (SILVA; WETERMAN, 2018, on-line).

4.7 Baterias para ônibus elétricos – Produção nacional e parcerias

Um dos grandes desafios para a popularização dos ônibus elétricos à bateria no Brasil tem sido a necessidade de importação das baterias de Íons de Lítio, ainda não fabricadas no país, um fato que eleva o custo deste importante componente. Nesse tópico, apresenta-se como está a questão da nacionalização da produção das baterias.

De acordo com BYD (2019, on-line), a primeira fábrica de baterias da empresa no Brasil que estava funcionando em fase de pré-operação em Manaus, tinha previsão de chegar ao pleno desempenho até o final de 2019. Primeiramente designada para baterias de ônibus, a fábrica deverá expandir seu lastro a outros produtos que venham a agregar ao portfólio.

Outra empresa, o Grupo Moura, firmou parceria com a Eletra e a XALT Energy para produção do primeiro ônibus elétrico 100% fabricado no Brasil, além de um novo modelo elétrico-híbrido.

A união entre a líder em vendas de baterias na América do Sul, a empresa referência em transporte público sustentável no País e a norte-americana especializada em soluções de armazenamento de energia para veículos pesados de grande porte foi oficializada e prevê a apresentação dos novos modelos ao mercado até meados de 2019. (BATERIAS MOURA, 2019, on-line).

No tocante à parceria, que permitirá a fabricação dessas baterias no Brasil:

A parceria entre as três empresas marca o início das operações do Grupo Moura no mercado de baterias de lítio e seu pioneirismo no nascente mercado de eletrificação veicular do Brasil. Por meio do intercâmbio tecnológico com os norte-americanos, que já vem sendo desenvolvido há cerca de um ano, a Moura está usando sua *expertise* de mais de seis décadas para realizar a adaptação dos produtos fabricados pela XALT para o mercado sul americano e no futuro viabilizar a produção nacional assim que a demanda interna justificar os investimentos. (BATERIAS MOURA, 2019, on-line).

As baterias de íons de lítio que equiparão os dois protótipos da Eletra foram desenvolvidas especificamente para veículos pesados de grande porte (ônibus e caminhões, assim como navios e locomotivas ferroviárias), apresentando alta densidade energética e um sistema de gerenciamento e controle eletrônico, o Battery Management System (BMS). Por meio do BMS é feita toda a gestão das baterias: desde o estado de carga, determinação da autonomia elétrica do veículo, até o suporte para o sistema de resfriamento das baterias, promovendo segurança na operação, em casos de indícios de aquecimento.

Segundo Baterias Moura (2019, on-line), “as baterias são super avançadas tecnologicamente e certificadas nos principais testes internacionais, garantindo alta confiabilidade e segurança, completa vedação à líquidos (inclusive se forem submersas) e resistentes à fogo externo.”

Em relação a parceria com a empresa XALT:

A XALT Energy é especializada em baterias de íons de lítio para projetos de larga escala, os quais requisitam elevadas e rígidas demandas de armazenamento de energia e potência. Atua nos segmentos de transporte comercial de grande porte, ferroviário, construção naval e operações industriais, além do setor automotivo. Sua unidade industrial de 42.735 metros quadrados (m²), em Michigan (EUA), fabrica células de lítio, módulos e packs de baterias, assim como todos os controles e softwares usados para o gerenciamento dos sistemas de armazenamento de energia de íons de lítio. A companhia possui ainda um Centro de Pesquisa & Desenvolvimento na cidade de Pontiac, também no estado de Michigan. No início de 2019, o grupo familiar alemão Freudenberg, com faturamento da ordem de € 11 bilhões assumiu o controle acionário da Xalt. (BATERIAS MOURA, 2019, on-line).

A pesquisa também identificou iniciativas de outros possíveis fabricantes nacionais de baterias, baseadas em outras tecnologias, mas ainda em fase de projetos, que não foram citadas neste texto.

4.8 Energia renovável

Na questão da energia renovável abordar-se-ão as fontes em gerais, destacando a energia solar, que será a predominante para o abastecimento dos ônibus elétricos a bateria e, ainda, por sua facilidade de instalação em locais próximos ao consumo.

Figura 19 - Instalação de módulo fotovoltaico em telhado, responsável por captar a energia solar



Fonte: (COSTA, 2019).

A figura 19 mostra a instalação de painéis fotovoltaicos, em telhado, para geração de energia, objetivando atender às demandas locais, incluindo as possibilidades de implantação de infraestrutura para carregamento das baterias de ônibus elétrico.

Tabela 13 - Oferta Interna de Energia (OIE) – (ktep)²

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		18/17 %	Estrutura %	
	2017	2018		2017	2018
NÃO-RENOVÁVEL	167.028	157.859	-5,5	57,0	54,7
<i>PETRÓLEO E DERIVADOS</i>	<i>106.276</i>	<i>99.320</i>	<i>-6,5</i>	<i>36,2</i>	<i>34,4</i>
<i>GÁS NATURAL</i>	<i>37.938</i>	<i>35.905</i>	<i>-5,4</i>	<i>12,9</i>	<i>12,5</i>
<i>CARVÃO MINERAL E DERIVADOS</i>	<i>16.790</i>	<i>16.632</i>	<i>-0,9</i>	<i>5,7</i>	<i>5,8</i>
<i>URÂNIO (U308) E DERIVADOS</i>	<i>4.193</i>	<i>4.174</i>	<i>-0,5</i>	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>
<i>OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (a)</i>	<i>1.831</i>	<i>1.828</i>	<i>-0,1</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>
RENOVÁVEL	126.240	130.533	3,4	43,0	45,3
<i>HIDRÁULICA E ELETRICIDADE</i>	<i>35.023</i>	<i>36.460</i>	<i>4,1</i>	<i>11,9</i>	<i>12,6</i>
<i>LENHA E CARVÃO VEGETAL</i>	<i>23.992</i>	<i>24.146</i>	<i>0,6</i>	<i>8,2</i>	<i>8,4</i>
<i>DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>	<i>49.758</i>	<i>50.090</i>	<i>0,7</i>	<i>17,0</i>	<i>17,4</i>
<i>OUTRAS RENOVÁVEIS (b)</i>	<i>17.467</i>	<i>19.837</i>	<i>13,6</i>	<i>6,0</i>	<i>6,9</i>
TOTAL	293.268	288.392	-1,7	100,0	100,0
<i>dos quais fósseis</i>	<i>162.835</i>	<i>153.685</i>	<i>-5,6</i>	<i>55,5</i>	<i>53,3</i>

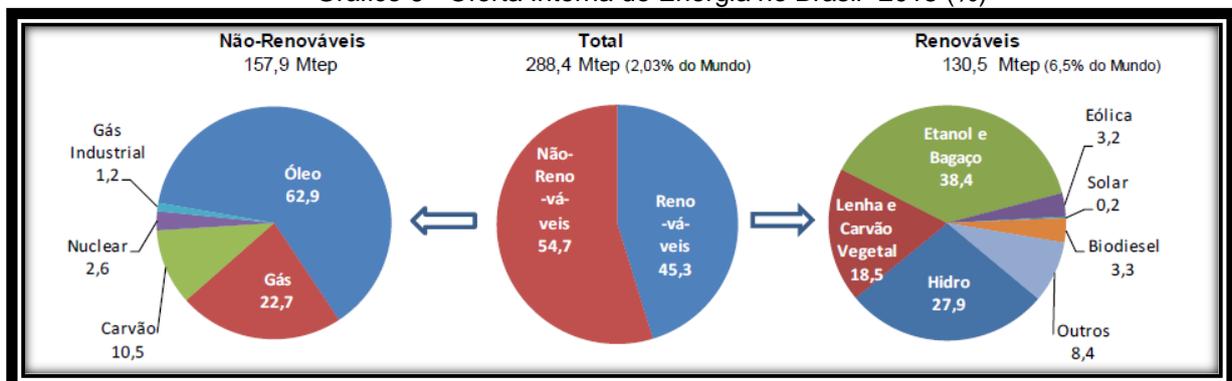
Fonte: (BRASIL. MME, 2018)

(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre;

(b) Lixívia, biodiesel, eólica, solar, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

A tabela 13 apresenta a composição da OIE dos anos de 2017 e 2018, em que é possível perceber um grande aumento na participação das fontes renováveis, saindo de 43,0 % para 45,3%. Em relação ao item toneladas equivalentes de petróleo (tep) tem-se uma equivalência de 126.240 mil toneladas e para 2018 um aumento para 130.533 mil toneladas de petróleo. Isso implica que se deixou de utilizar esses valores em petróleo com a substituição por energias renováveis.

Gráfico 6 - Oferta Interna de Energia no Brasil- 2018 (%)



Fonte: (BRASIL. MME, 2018, on-line).

² Tonelada equivalente de petróleo (tep): Unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

O gráfico 6 aponta a estrutura da OIE de 2018. No gráfico central é possível observar que 45,3 % são as vantagens das fontes renováveis, na matriz energética brasileira, quando comparadas com as demais fontes referidas.

Se forem considerados os países da OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico), compostas por 34 países, há um total de 10,6 % e de 14,3% da média mundial. Segundo BRASIL.MME (2018, on-line), “De 2017 a 2018, houve um aumento na participação das energias renováveis: hidráulica 0,2 ponto percentual; eólica 0,3; biodiesel 0,6; solar 0,1; e outros 0,4.”

Esses valores indicam que os países da OCDE têm uma dependência muito grande de combustíveis fósseis, derivados do petróleo.

Tabela 14 - Oferta Interna de energia Elétrica (OIEE)

ESPECIFICAÇÃO	GWh		18/17 %	Estrutura (%)	
	2017	2018		2017	2018
HIDRÁULICA	370.906	388.971	4,9	59,3	61,1
BAGAÇO DE CANA	35.656	35.435	-0,6	5,7	5,6
EÓLICA	42.373	48.475	14,4	6,8	7,6
SOLAR	832	3.461	316,1	0,13	0,54
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	17.257	18.947	9,8	2,8	3,0
ÓLEO	12.458	9.293	-25,4	2,0	1,5
GÁS NATURAL	65.593	54.622	-16,7	10,5	8,6
CARVÃO	16.257	14.204	-12,6	2,6	2,2
NUCLEAR	15.739	15.674	-0,4	2,5	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.257	12.314	0,5	2,0	1,9
IMPORTAÇÃO	36.355	34.979	-3,8	5,8	5,5
TOTAL (c)	625.682	636.375	1,7	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>503.378</i>	<i>530.269</i>	<i>5,3</i>	<i>80,5</i>	<i>83,3</i>

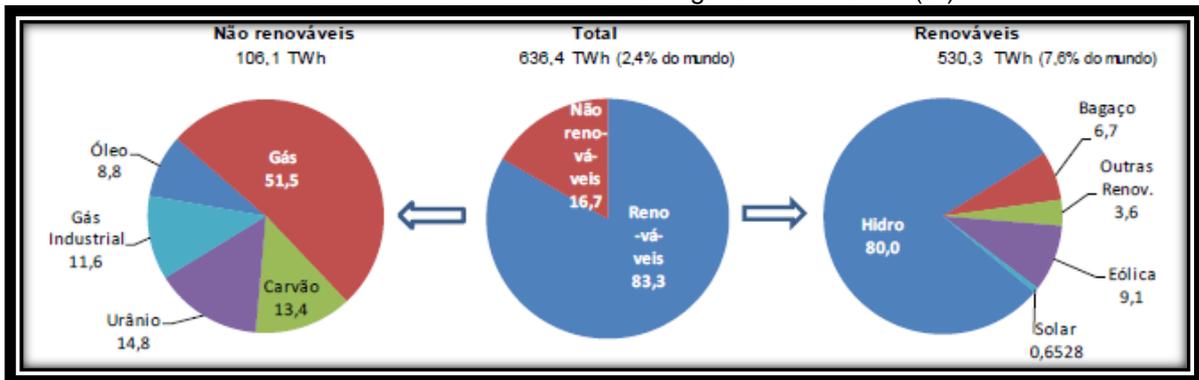
Fonte: (BRASIL. MME, 2018, on-line).

(a) Lixívia, biodiesel, eólica, solar, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

(b) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre;

Da tabela 14, pode-se concluir que as fontes renováveis atingiram 83,3 % de participação na matriz de OIEE em 2018, indicando 2,8 pontos percentuais acima do verificado no ano de 2017. A energia solar, apresenta uma taxa alta de crescimento, passando de 832 GWh em 2017 para 3.461 GWh em 2018, com um percentual de 316,1 % de aumento na oferta interna de energia elétrica.

Gráfico 7 - Oferta Interna de Energia Elétrica - 2018 (%)



Fonte: (BRASIL. MME, 2018, on-line).

O gráfico 7 aponta a matriz da OIEE, destacando no gráfico central 83,3 % de vantagens comparativas das matrizes brasileiras, contra os 26,2 na média mundial e de 26,8 no bloco OCDE.

[...] o Brasil deverá ter um salto de 44% na capacidade instalada de energia solar em 2019, o que levaria o país à marca de 3,3 giga watts (GW) da fonte em operação, projetou em entrevista à Reuters o presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.” (COSTA, 2019, on-line).

Na questão da perspectiva desse segmento:

O ano também deve marcar uma virada para o mercado solar brasileiro, segundo a entidade, com a expansão puxada pela primeira vez pela chamada geração distribuída, em que placas solares em telhados ou terrenos geram energia para atender à demanda de casas ou de estabelecimentos comerciais e indústrias. (COSTA, 2019, on-line).

Na possibilidade dos avanços dos projetos, conforme Costa (2019), “os projetos de geração distribuída (GD) deverão acrescentar 628,5 megawatts (MW) em capacidade solar ao país, um crescimento de 125%, enquanto grandes usinas fotovoltaicas devem somar 383 MW até o final do ano, um avanço de 21%.”

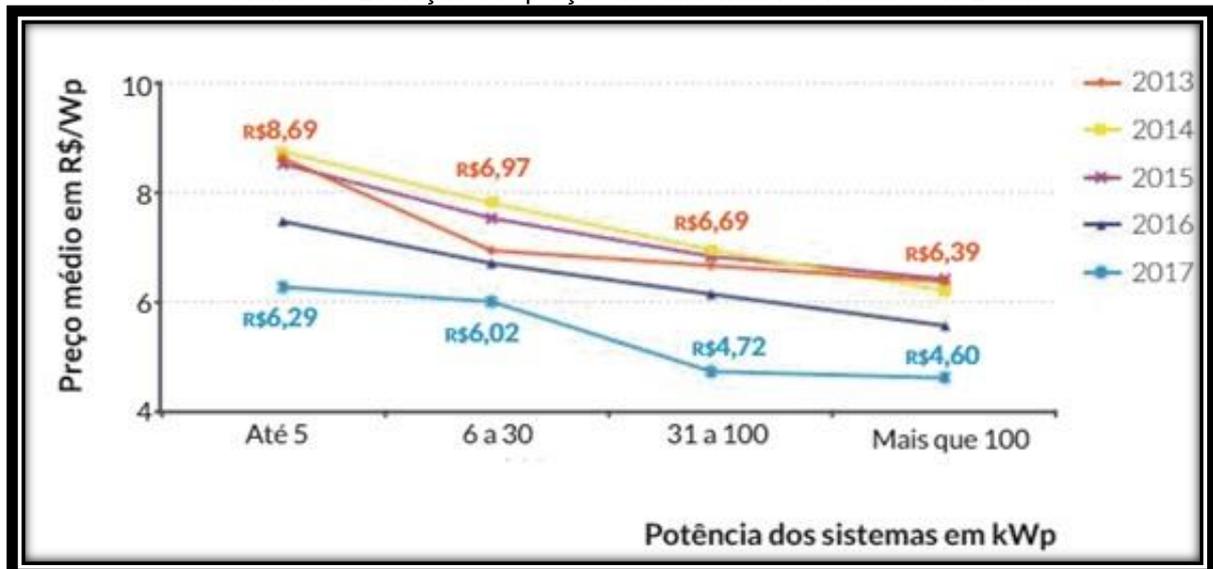
Ressalta-se a grande vantagem dessa modalidade de geração de energia, por meio das micro e miniusinas, que é a geração de créditos na medida em que a geração é maior que o consumo:

A instalação em massa de pequenos sistemas de geração distribuída vai contribuir para o aumento da disponibilidade de eletricidade em nosso País, ajudando a poupar água nos reservatórios das hidrelétricas nos períodos de seca. Além disso, os sistemas de geração distribuída vão reduzir a necessidade de construir usinas baseadas em fontes não renováveis. Além de proporcionar bem-estar e qualidade de vida, com a introdução de fontes limpas de energia, a geração distribuída descentraliza a produção de energia, produzindo eletricidade perto do local de consumo e permitindo aliviar as linhas de transmissão e os sistemas de distribuição. (VILLALVA, 2016, p.26).

Ainda, em relação à Geração Distribuída:

Essas pequenas usinas são conectadas diretamente às redes de distribuição de baixa tensão, sem a necessidade de instalar transformadores ou linhas de transmissão de eletricidade. Além de fornecerem energia para o consumo local, por estarem conectadas ao sistema elétrico também contribuem para a geração de eletricidade em todo o País. (VILLALVA, 2016, p.26).

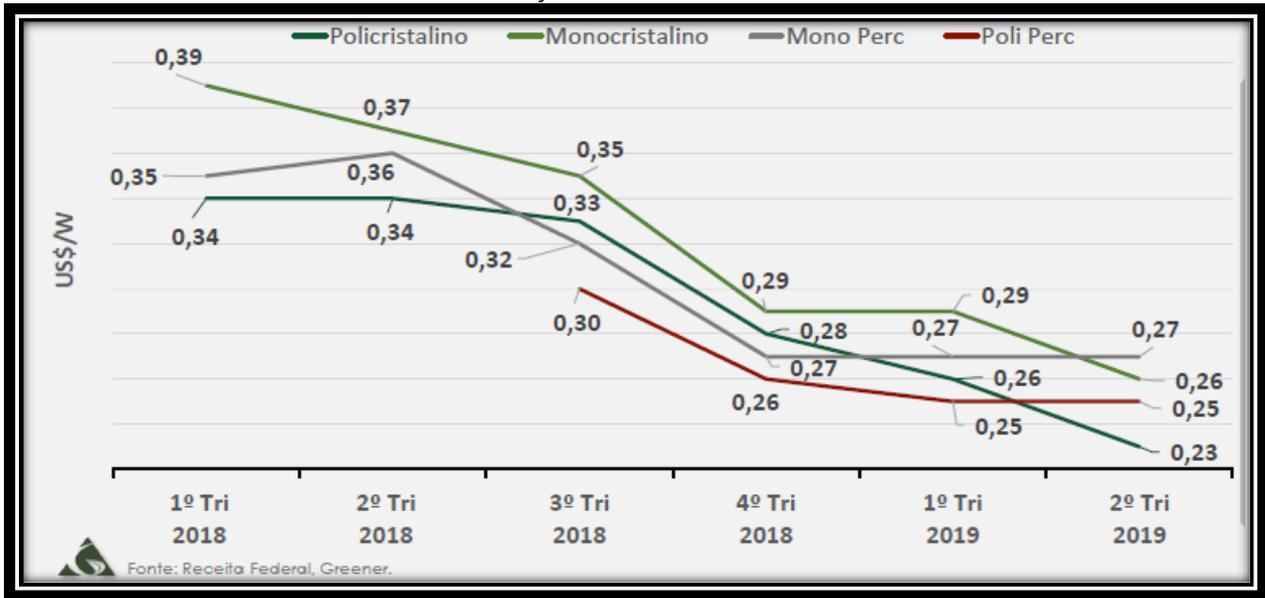
Gráfico 8 - Evolução dos preços dos sistemas fotovoltaicos no Brasil



Fonte: (BRASIL. BNDS, 2018, on-line).

O gráfico 8, demonstra a acentuada redução nos custos de implantação dos sistemas fotovoltaicos e a Potência dos sistemas, em kWp (quilowatts pico) mantendo o seu crescimento. Destacando custos menores em relação as maiores potencias dos sistemas. Nesses patamares apresentam-se as instalações a nível industrial, como seria o caso das necessidades das concessionárias de ônibus elétrico a bateria.

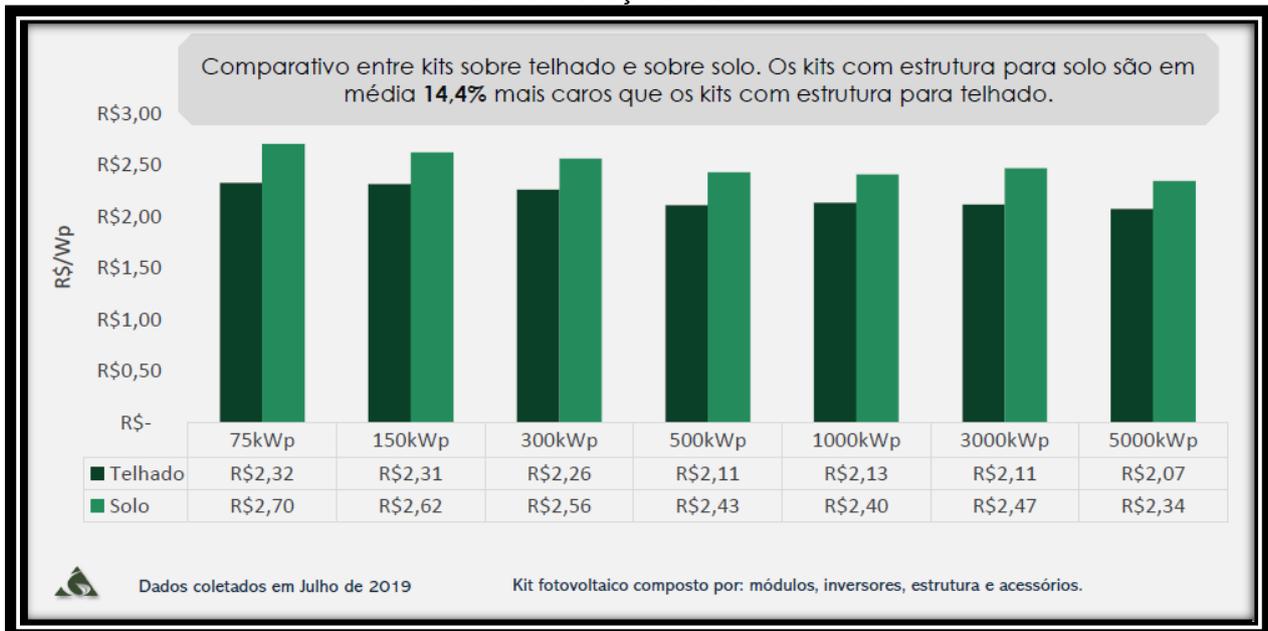
Gráfico 9 - Preço médio dos Módulos Fotovoltaicos



Fonte:(GREENER; 2019, on-line).

O gráfico 9 apresenta os custos dos módulos em dólares por unidade de potência, o que permite uma projeção futura de valores a serem pagos na geração distribuída. Destacam-se os materiais utilizados na fabricação dessas placas fotovoltaicas e os custos maiores para o Policristalino e mais acessíveis aos materiais Mono e Poli Perc.

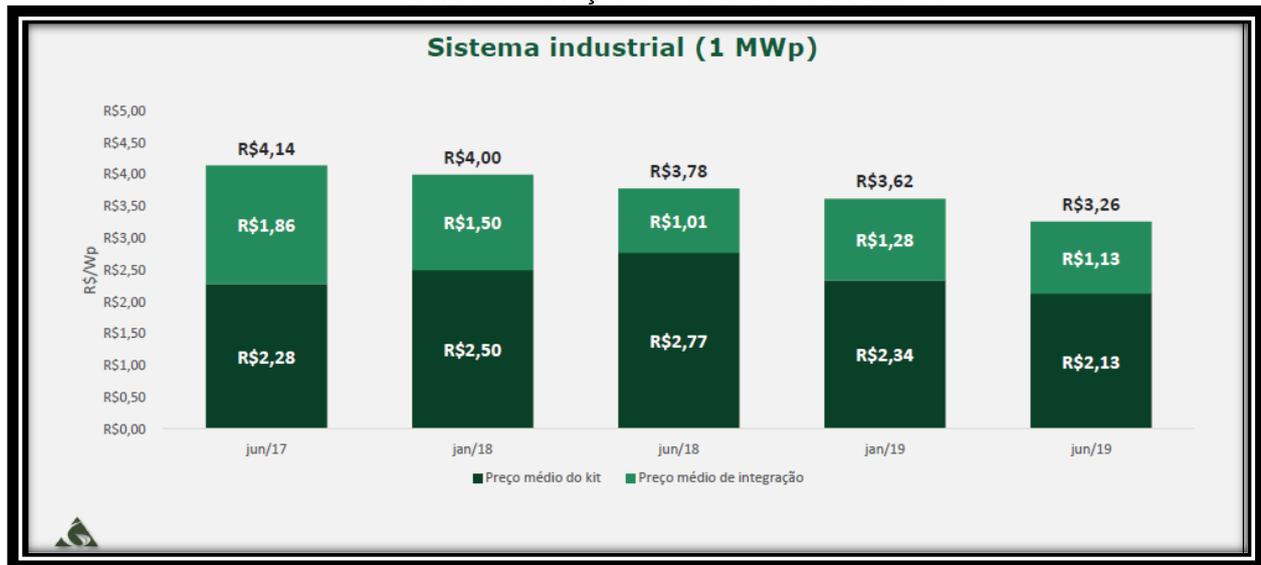
Gráfico 10 - Preço dos kits fotovoltaicos



Fonte:(GREENER; 2019, on-line).

Em relação ao gráfico 10, observa-se uma redução nos custos por potência instalada, propiciando com isso os investimentos em implantação de sistemas fotovoltaicos nas garagens das concessionárias ou nos pontos estratégicos ao longo do percurso dos ônibus elétricos.

Gráfico 11 - Preços dos sistemas fotovoltaicos



Fonte:(GREENER; 2019, on-line).

O gráfico 11, identifica para o atendimento ao sistema industrial, na ordem de 1MWp, uma redução dos custos do preço médio do kit, que envolvem: módulos, inversores, estrutura e acessórios e do preço médio da integração, que envolvem: Engenharia, mão de obra para a instalação, impostos e margem de lucro.

Para efeitos de relação área média ocupada e potência, por sistemas de energia solar para armazéns e indústrias, temos que, segundo Solar (2019):

- Potência de 50kWp (média de energia = 6.250 kWh/mês): ocupa cerca de 400m² a 500m²;
- Potência de 100kWp (média de energia = 12.500 kWh/mês): ocupa cerca de 800 a 1000m²;
- Potência de 1MWp (média de energia = 125.000 kWh/mês): ocupa cerca de 8.000 a 10.000m².

Na questão da compensação da energia:

Um marco importante para o incremento da utilização de sistemas solares de geração distribuída foi a Resolução ANEEL 482, de 17 de abril de 2012, pela qual foram instituídos incentivos, como por exemplo, a compensação de energia, com a criação da figura do produtor-consumidor, no âmbito do chamado sistema net metering. A principal característica do *net metering* é a possibilidade de se injetar na rede elétrica a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos não consumida, convertê-la em créditos para a compensação posterior, quando o consumo supera a produção dos painéis. (BRASIL. BNDS, 2018, on-line).

Em 24 de novembro de 2015, a ANEEL aprimorou a Resolução 482/2012, ampliando os incentivos à geração solar distribuída, tais como, segundo Brasil. BNDS (2018):

- elevação do limite da potência instalada de 1MW para 5MW;
- aumento do prazo de validade dos créditos de geração para até 5 anos;
- criação da modalidade de geração compartilhada; e
- possibilidade do autoconsumo remoto, além da simplificação do processo de registro do produtor de energia solar junto à concessionária local.

Adicionalmente, com a redução progressiva dos custos, o aumento do rendimento dos sistemas solares, e a elevação das tarifas das concessionárias de distribuição de energia, a paridade de custo final da energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos e das tarifas das concessionárias já é uma realidade, o que incentiva a autoprodução de energia.

Destaca-se o crescimento dessa energia renovável, sobretudo no quesito Geração Distribuída, o que leva a crer que também poderão ser implantados locais de abastecimento para o carregamento das baterias dos ônibus elétricos, em locais estratégicos e conforme planejamento dos itinerários dos ônibus urbanos, levando em conta a autonomia desse tipo de tecnologia. Novas fontes de energia, caracterizadas por Geração Distribuída, e conforme legislação específica da ANEEL, poderão ser instaladas para atendimento a essas novas demandas das concessionárias, que administram essas frotas de veículos elétricos.

Em relação às perspectivas de custo da energia, segundo Costa (2019, on-line), “com a disparada das tarifas de energia no Brasil desde 2015 e a redução nos custos de equipamentos fotovoltaicos, os investimentos em GD podem ser recuperados em um período de três a sete anos.”

Considerando, ainda, essa questão da limitação do Sistema Elétrico de Potência, no que se refere às dificuldades de atendimento às novas demandas, cada vez mais crescentes, gerando com isso aumentos de tarifas de energia.

Face a essas novas circunstâncias, deve-se pensar em alternativas de energias renováveis, e que ainda possam suprir as deficiências do atual sistema de abastecimento, gerando energia para o próprio SEP (Sistema Elétrico de Potência), com créditos de energia para o sistema, na medida em que a energia solar fotovoltaica gerada for maior que as demandas de abastecimento dos coletivos com tecnologia elétrica a bateria.

Na questão dos avanços da energia solar:

Apesar da forte expansão, a energia solar ainda tem presença incipiente na matriz elétrica do Brasil, dominada por grandes hidrelétricas. A fonte responde atualmente por cerca de 1% da capacidade instalada no país, de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (COSTA, 2019, on-line).

O uso das energias renováveis, sobretudo a solar, trará enormes benefícios e contribuirá para amenizar a sobrecarga do nosso Sistema Elétrico de Potência e, ainda promoverá o seu crescimento em face dessas novas demandas para a tecnologia elétrica a bateria, possibilitando com isso a busca por um ambiente com uma atmosfera mais limpa em nossas cidades.

A implantação dos ônibus elétrico a bateria, para o transporte público, sem dúvida trará enormes benefícios, sobretudo na questão da sustentabilidade e os dados estatísticos apontam a sua crescente utilização no contexto mundial e com estimativas de crescimento no Brasil, considerando, ainda, o número crescente de usuários, em face das tendências de aumento das aglomerações urbanas.

Na questão pioneira da utilização da energia solar nos ônibus elétricos a bateria, tem-se que, segundo Pelegi (2017a, on-line), “Circulando desde o dia 20 de dezembro 2016, o primeiro ônibus 100% elétrico movido a energia solar superou, em abril, a marca de 10 mil quilômetros.”

Em relação ao projeto destaca-se, segundo Pelegi (2017a, on-line):

O projeto foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da UFSC em parceria com a fabricante de São Bernardo do Campo, Eletra, responsável também pelo projeto de integração dos equipamentos. O ônibus tem carroceria Marcopolo Torino Low Entry, os motores elétricos são da WEG e o chassi é um Mercedes-Benz O-500U Elétrico. PELEGI (2017a, on-line).

Figura 20 - Recarga por energia solar - ônibus elétrico a bateria - Santa Catarina - UFSC



Fonte: (PELEGI, 2017a, on-line).

A figura 20 aponta o ônibus elétrico a bateria, no momento da recarga das baterias. Ressalta-se que a fonte de energia utilizada é renovável e proveniente de placas fotovoltaicas.

Figura 21 - Placa de energia solar em ponto de ônibus no município de Campinas



Fonte: (MARQUES, 2018b, on-line).

A figura 21 destaca placas de captação de energia solar, em ponto de parada de ônibus, que foram instaladas na região metropolitana de Campinas.

No computo geral, segundo Marques (2018b, on-line), “ao todo, 14 paradas já receberam as placas de captação, de um total de 20 pontos que estarão concluídos até o final do ano nos municípios de Americana e Santa Bárbara D’Oeste”.

Destaca-se que:

As placas de captação de energia solar são conectadas com a rede de energia da CPFL, gerando para o Estado um crédito em energia que pode ser utilizado nas próprias paradas e também em outros equipamentos metropolitanos. Pioneira na implantação dessa tecnologia no sistema de ônibus no Estado de São Paulo, a EMTU/SP pretende estender a novidade a outros empreendimentos sob sua responsabilidade. (MARQUES, 2018b, on-line).

Em relação aos custos e ao payback desse sistema, apontou Marques (2018b), “o custo estimado é de R\$ 6,7 mil por ponto de parada e o investimento tem expectativa de ser recuperado em até três anos e um mês.”

Essas placas são produzidas pela empresa WEG, em que se utilizaram tecnologia nacional e estrangeira, considerando que a Sede da Weg é no Brasil e alguns de seus produtos são fabricados na China.

Na questão técnica de funcionamento desse sistema apontou-se que:

As placas captam e transformam a energia solar em eletricidade. Após a conversão em energia elétrica, é injetada na rede da CPFL. As medições de geração são feitas e acompanhadas diariamente. A CPFL, por sua vez reenvia essa energia de volta à EMTU e todos os créditos excedentes podem ser utilizados tanto nas paradas de ônibus como em outros equipamentos da empresa. (MARQUES, 2018b, on-line).

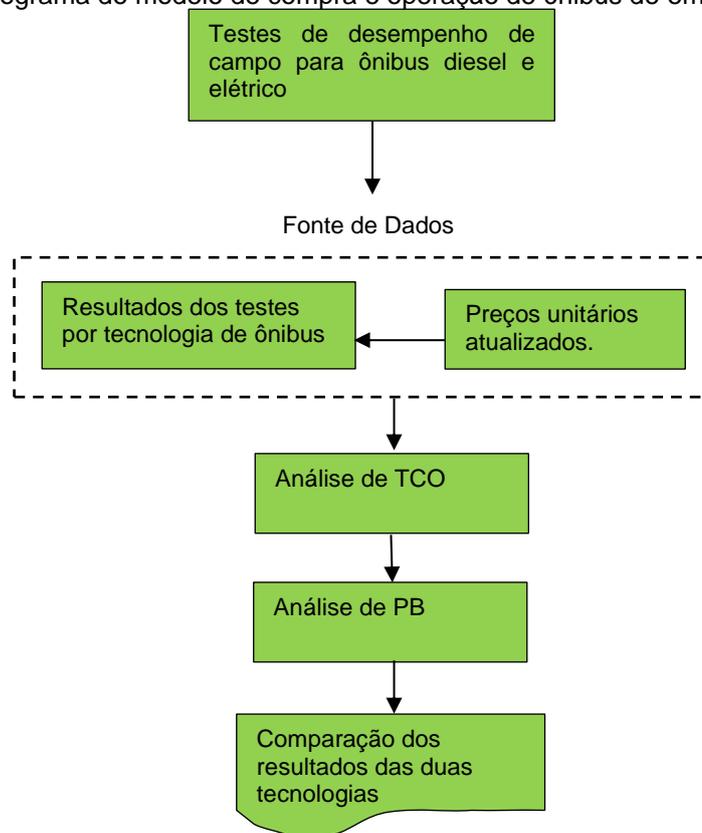
Ressalta-se, segundo Marques (2018b, on-line), “que hoje produzimos mais energia do que utilizamos, e isso de forma gratuita.”

5 PROJETOS DE IMPLANTAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA

5.1 No contexto mundial – Istambul - Turquia

São diversas as iniciativas, ao redor do mundo, do uso da tecnologia elétrica a bateria. Destaca-se aqui um projeto em Istambul, na Turquia, descrita por Topal; Nakir (2018), em que foi comparada a tecnologia Diesel e Elétrico a Bateria, que resultaram em uma análise completa dessas tecnologias, em que se consideraram os seguintes parâmetros, conforme apontado na figura 22:

Figura 22 - Fluxograma do modelo de compra e operação de ônibus de emissão zero



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de (TOPAL; NAKIR, 2018).

Esse modelo, que foi chamado de ZEBusPOM, constou de cinco etapas, conforme figura 22 e que são descritas a seguir:

Teste de Desempenho em Campo:

A primeira etapa, desse modelo, foi a realização dos testes de desempenho dos veículos em condições reais de campo.

- **Elaboração da fonte de dados:**

A segunda etapa foi a elaboração da fonte de dados, originada do resultado de testes de campo. Nesse ponto, alguns dos parâmetros técnicos e econômicos, como custo médio de combustível, consumo de energia por km, emissões totais de GEE e faixa média para um tanque cheio são considerados e registrados para a formação da fonte de dados.

- **Análise do TCO:**

A terceira etapa foi a análise do TCO (Total Cost of Ownership). O método de TCO proposto leva em consideração os custos de aquisição e do investimento operacional, que dependem das variáveis dos operadores de transporte, concessionárias.

- **Análise Econômica:**

Na quarta etapa, foram realizadas análises de TCO e PB (Período de Payback), visando a comparação dos conceitos das tecnologias consideradas.

- **Avaliação da Análise Econômica e Comparação dos Conceitos de Ônibus:**

Na etapa final da abordagem proposta, o Diesel e os ônibus elétricos a bateria foram comparados de acordo com a análise econômica realizada.

Nessa fase de comparação, conforme Topal; Nakir, (2018, p.5), “o custo de aquisição do ônibus, o custo operacional e os custos de investimento foram considerados como variáveis centrais, que dependiam dos programas de transporte.”

A abordagem matemática, com as variáveis descritas acima, foi modelada usando o MATLAB. Segundo Topal; Nakir, (2018, p.5), “espera-se que o modelo matemático desenvolvido possa ser uma ferramenta importante para o setor de transporte público, em Istambul.”

Usando os cálculos propostos, foi possível calcular o período real de retorno e amortização do ônibus elétrico com relação aos ônibus diesel.

Os detalhes técnicos, dos ônibus utilizados nos testes de desempenho, estão apresentados na tabela 15. Destaca Topal; Nakir, (2018, p.5), “os ônibus a diesel, que realizaram testes de desempenho no campo dentro do escopo do estudo, foram selecionados aleatoriamente da frota existente.”

Tabela 15 - Especificações Técnicas dos Ônibus Diesel e Elétrico a Bateria

Especificação	Ônibus Diesel	Ônibus Elétrico a Bateria
Marca/modelo	Ônibus KentLF 12 m	TCV Bozankaya E-Karat 10.7 m
Comprimento	12,000 mm	10,700 mm
Largura	2540 mm	2550 mm
Altura	3145 mm	3350 mm
Peso máximo	18,000 kg	18,000 kg
Tipo do motor	Deus, EEV	Motor de C.C.
Número de cilindros	6	-
Capacidade do motor	7150 cc	-
Potência líquida máxima	213 kW / 2100 rpm	240 kW
Torque líquido máximo	1200 Nm / 1050–1650 rpm	21,000 Nm
Lotação	27 Sentados + 76 em pé + 1 condutor	25 sentados + 65 em pé + 1 motorista
Transmissão	Automática. 4 marchas diretas e 1 de ré.	-
Tanque de combustível	300,0 lt diesel; 50 lt AdBlue (ARLA 32)	200 kWh - Íon do Lítio
Velocidade máxima	80 km/h	75 km/h
Declive (subidas)	30%	22%

Fonte: Adaptada pelo autor com dados da Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Para determinar as condições do ciclo de carga para a tecnologia elétrica a bateria, a capacidade de carga das baterias dos ônibus foi medida nos níveis de carga fornecidos pelo fabricante. Dados cíclicos dos conceitos de ônibus diesel e ônibus elétricos a bateria, foram obtidos para os cenários criados com base nos ciclos de carga, que levam em conta os custos de combustível e tarifas de energia elétrica durante o dia, no pico de consumo e a noite.

Os testes de desempenho foram realizados carregando os ônibus, das diferentes tecnologias, em condições sem carga e a plena carga, conforme determinados pelos fabricantes. Durante os testes, Topal; Nakir, (2018, p.7), para poder criar uma abordagem linear nos cálculos, “a ocupação máxima dos ônibus foi sempre garantida e, em vez dos passageiros, foram utilizados pesos de sacos de areia e barris de água, em referência ao peso médio do passageiro, determinado na literatura.”

Figura 23 - Rotas das linhas 28T e 55T - Istanbul



Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Os testes de desempenho, sem carga e com carga total, foram realizados em duas linhas distintas, que foram 28 T e 55 T com diferentes perfis e para condições operacionais especificadas, como mostrado na Figura 23.

Ressaltam-se que as linhas de ônibus 28T e 55 T foram selecionadas para testes de campo, pois são rotas suficientes para representar as condições médias da estrada em Istambul.

A linha 28 T (Beşiktaş - Topkapı - Edirnekapı), de 12 km com condições de estrada relativamente retas e a linha 55 T (Gaziosmanpaşa - Taksim - Edirnekapı), de 6 km, com uma inclinação média de 4,56 % e máxima de 10,40%, foram escolhidas nesse contexto.

Tabela 16 - Preços unitários para ônibus Diesel e Elétrico a Bateria

Custo (Euros) - [€]	Diesel	Elétrico
Custo de compra por veículo	127,000	359,000
Custo de compra por veículo - (pagamento em 5 anos com M&O incluído)	164,400	440,000
Custo da instalação da infraestrutura - por frota de 250 veículos	325,678.57	1,198,547.86
Custo de amortização	Constante	Constante
Custo do condutor	Constante	Constante
Outros custos (seguros, impostos e etc.)	Constante	Constante

Adaptada pelo autor com dados da Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Na Tabela 16, ressaltam-se que os custos da amortização, do condutor e os outros custos foram considerados iguais para ambas as tecnologias de veículos.

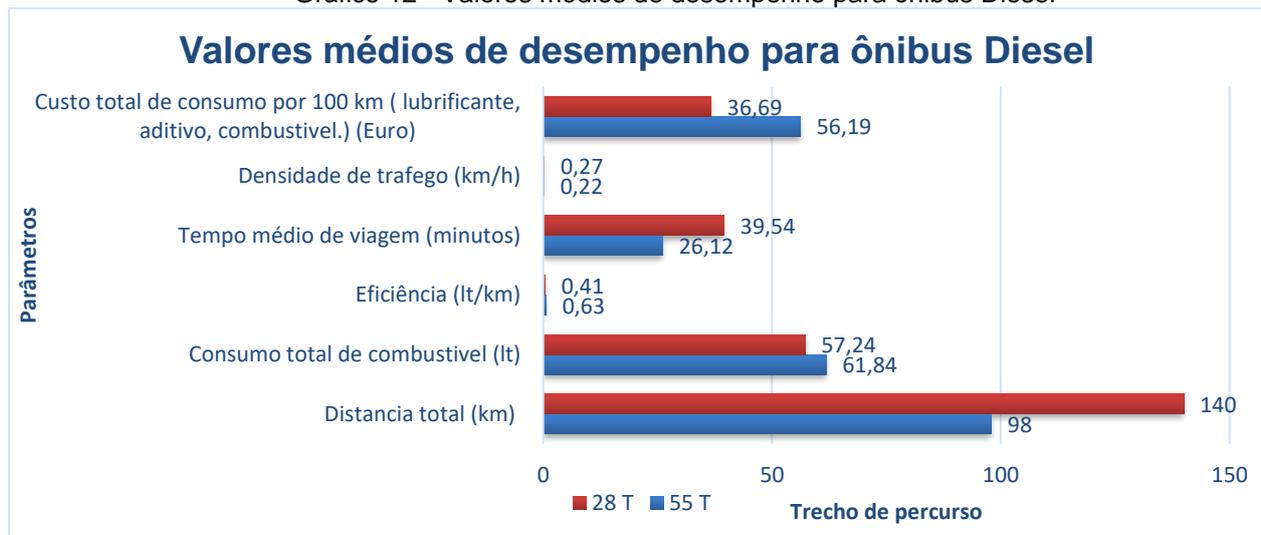
Tabela 17 - Valores de desempenho para ônibus diesel e elétrico a bateria

Crítérios de desempenho	Percurso	Diesel	Elétrico
Tempo de fornecimento de combustível para encher o tanque/recarga da bateria (min.)		5	240
M&O custo por km		0.1004	0.0436
Custo médio de combustível-por km-(Euro)		0.4326	0.0410
Consumo por km - nas condições de estrada inclinadas (Euro)	Linha de ônibus 28 T	0.3401	0.0450
	Linha de ônibus 55 T	0.5250	0.0371
Autonomia por km Para um tanque cheio e bateria 100%		500	274
Emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) - toneladas métricas por km- (CO2)		1.34×10^{-3}	-

Adaptada pelo autor com dados da Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Conforme a tabela 17, o custo médio por km-(Euros) para o diesel é de 0,4326 Euros e para a energia é de 0,0410 Euros. Se for considerada a média diária de 100 km de percurso, tem-se que será 36.500 km por ano. No período de 10 anos para o elétrico o custo da eletricidade será de 15 mil Euros e para o diesel, no mesmo período, o custo do combustível será de 158 mil Euros, estabelecendo uma relação e 10 vezes maior para a tecnologia a diesel.

Gráfico 12 - Valores médios de desempenho para ônibus Diesel



Fonte: Elaboração pelo autor, com dados da Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Em relação ao gráfico 12, para a tecnologia diesel, destacam-se que na linha 28 T, o consumo médio de combustível por km (eficiência) foi de 0,41 l. Em geral, a linha 28 T apresentou condições de estrada quase suaves e o tempo médio de viagem em cerca de 0,66 h (39,54 min). O preço do consumo por 100 km foi 36,69 €. A densidade média do tráfego durante o período de teste também foi medida como 0,27 km/h.

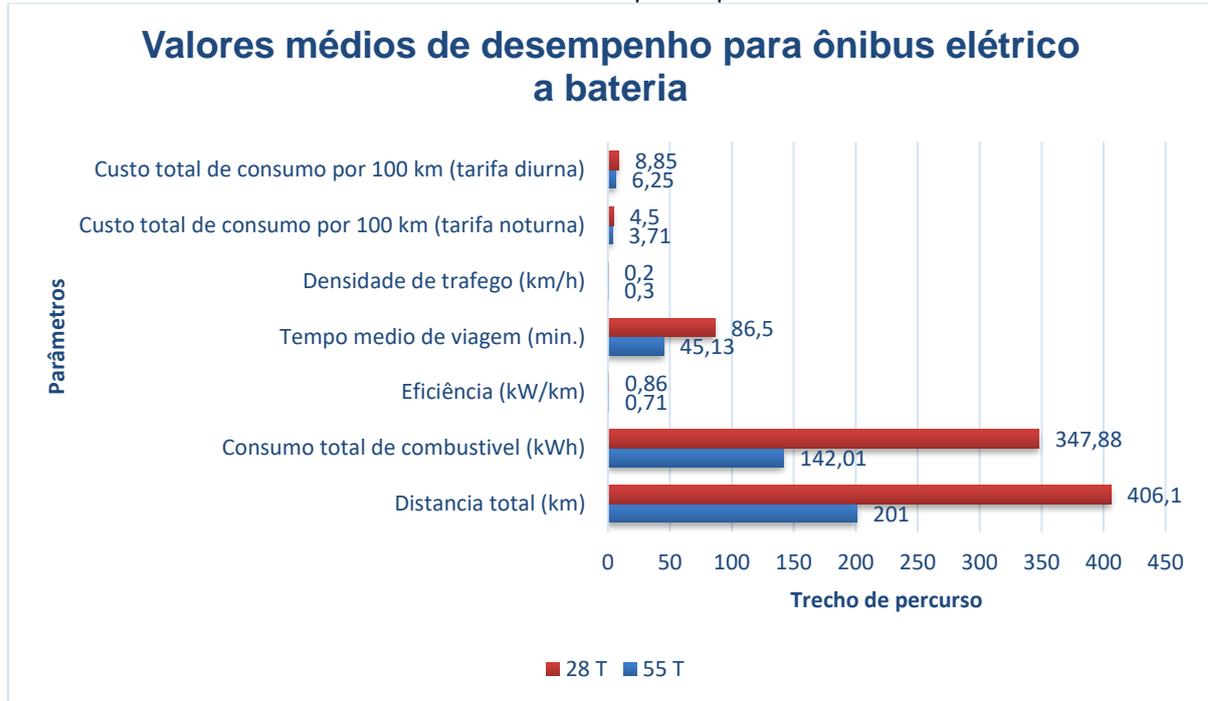
Para a linha de ônibus 55 T, o consumo médio de combustível por km foi de 0,63 l, destacando-se que o consumo de combustível do veículo da linha 55 T apresentou-se maior, devido às condições bastante inclinadas da estrada.

O aditivo, relacionado no item custo total de consumo por 100 km, é denominado de ARLA 32, para o caso do Brasil. No caso de Istambul denomina-se Adblue.

Em relação ao gráfico 13, a seguir, para a tecnologia elétrico a bateria, para a linha 28T, o consumo médio de energia por km (eficiência) foi de 0,86 kWh e o tempo médio de viagem próximo de 1,44 h (86,5 min). O preço do consumo de energia por

100 km foi de 8,85 €, com base na tarifa do dia, sendo de 4,50 € com base na cobrança noturna e o consumo de energia foi de 347,88 kWh no total.

Gráfico 13 - Valores médios de desempenho para ônibus elétrico a bateria



Fonte: Elaboração pelo autor, com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

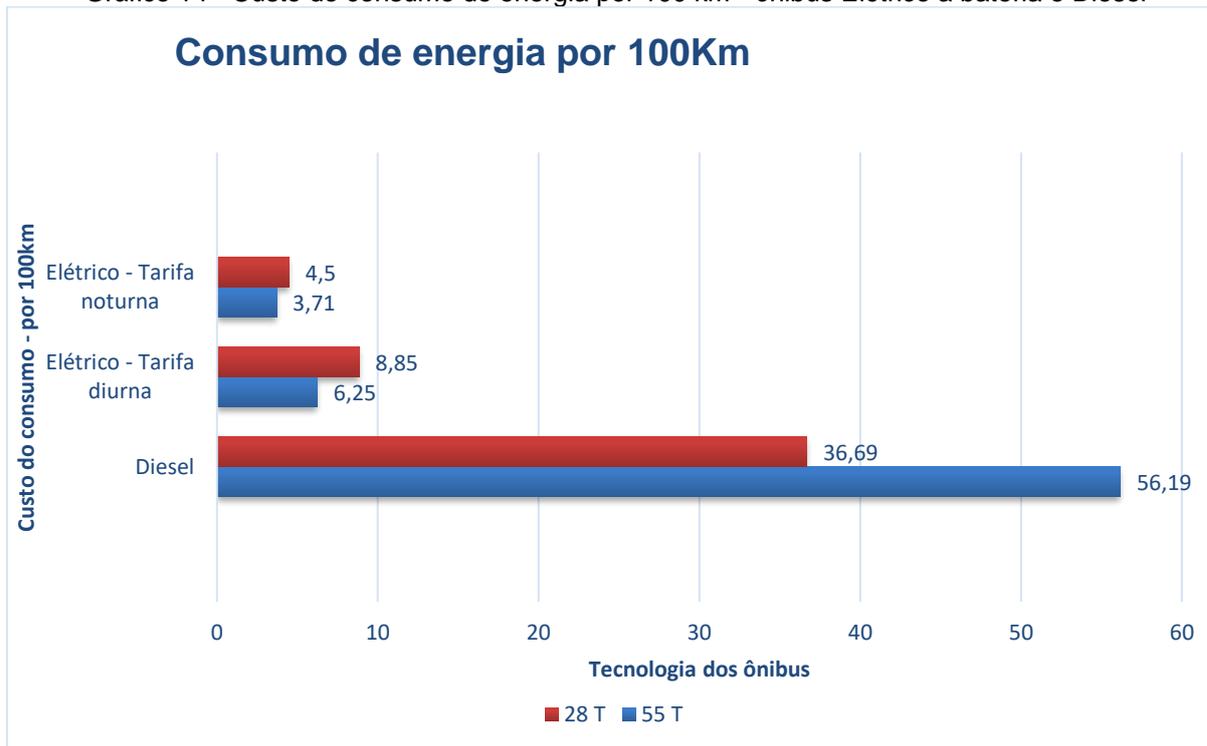
Para a linha 55T, o consumo médio de energia por km foi de 0,71 kWh e o tempo médio de viagem próximo de 0,75 h (45,13 min).

O preço de consumo de energia por 100 km foi de 6,25 €, com base na tarifa diurna, enquanto que 3,71 € foi cobrado pela tarifa noturna.

Importante destacar que a distância total percorrida pelo ônibus elétrico foi de 2,9 vezes maior para o trecho 28T e para o trecho 55T foi de 2 vezes maior, quando comparada à distância total percorrida pelo ônibus a Diesel, com isso justificando então o maior tempo de viagem para a tecnologia elétrico a bateria.

Em acordo com o gráfico 14, a seguir, concluiu-se que a diferença entre os custos do consumo de energia por 100 km, das tecnologias diesel e elétrica, foi de 32,19 €, representando que o ônibus elétrico pode alcançar até 87,8% de economia, com referência ao ônibus diesel, para carregamento noturno. Além disso, o ônibus elétrico a bateria com carregamento diurno, alcançou até 75,9% de economia, com referência ao ônibus diesel.

Gráfico 14 - Custo do consumo de energia por 100 km - ônibus Elétrico a bateria e Diesel



Fonte: Elaboração pelo autor, com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

5.1.1 Análise econômica dos conceitos de ônibus:

Um modelo matemático, baseado no TCO (Custo Total de Propriedade), foi estabelecido para os conceitos de ônibus determinados por este estudo. O método de TCO proposto leva em consideração: as compras de ônibus e os custos de investimento operacional, que dependiam das variáveis dos operadores de transporte.

Na análise de TCO, todos os custos operacionais de 10 anos foram levados em consideração. Os custos de combustível e M&O do diesel e ônibus elétricos usados, no modelo proposto, foram calculados usando valores em Euros.

Segundo Topal; Nakir (2018, p.10), “previsões de preços de 10 anos para o futuro foram calculadas com base no P (crescimento populacional projetado da Turquia) (P), PIB (Produto Interno Bruto) e PPI (Índice de Preços ao Produtor).”

Os custos de M&O estão entre os componentes de custo mais importantes dos conceitos de tecnologia usados na análise de TCO. Este custo, que foi levado em conta na análise econômica, tem um peso diferente em cada conceito de ônibus:

Os dados atualizados de M&O do IETT (Istanbul Electricity, Tramway and Tunnel General Management) foram usados neste estudo. Considerando o processo e a força de trabalho da IETT, em cada estação de ônibus (garagens), os custos reais de M&O para ônibus foram calculados em detalhes por veículo e por km. (TOPAL; NAKIR, 2018, p.11).

Os itens, utilizados no cálculo dos custos de M&O (Manutenção e Operacional) por km nas garagens, foram determinados conforme abaixo, segundo Topal; Nakir (2018, p.11):

- Custos de manutenção preventiva,
- Custos de renovação do motor,
- Danos e custos de pagamentos de reparos,
- Custo do material operacional (combustível e aditivos),
- Custo da equipe de resposta a emergências,
- Custos gerais de gestão administrativa,
- Custos de energia da garagem (eletricidade, água, gás natural para aquecimento),
- Seguro de tráfego e despesas de inspeção de veículos,
- Impostos.

Essas abordagens foram apresentadas para estimar o custo futuro de M&O levando em conta as previsões dos fabricantes de ônibus e o conhecimento institucional, especialmente para o conceito de ônibus diesel.

Na tabela 18, a seguir, ressaltam-se, como critérios de desempenho, o M&O (Manutenção e Operação), considerando o custo médio de combustível, com valores relativos bem mais baixos para o ônibus elétrico a bateria.

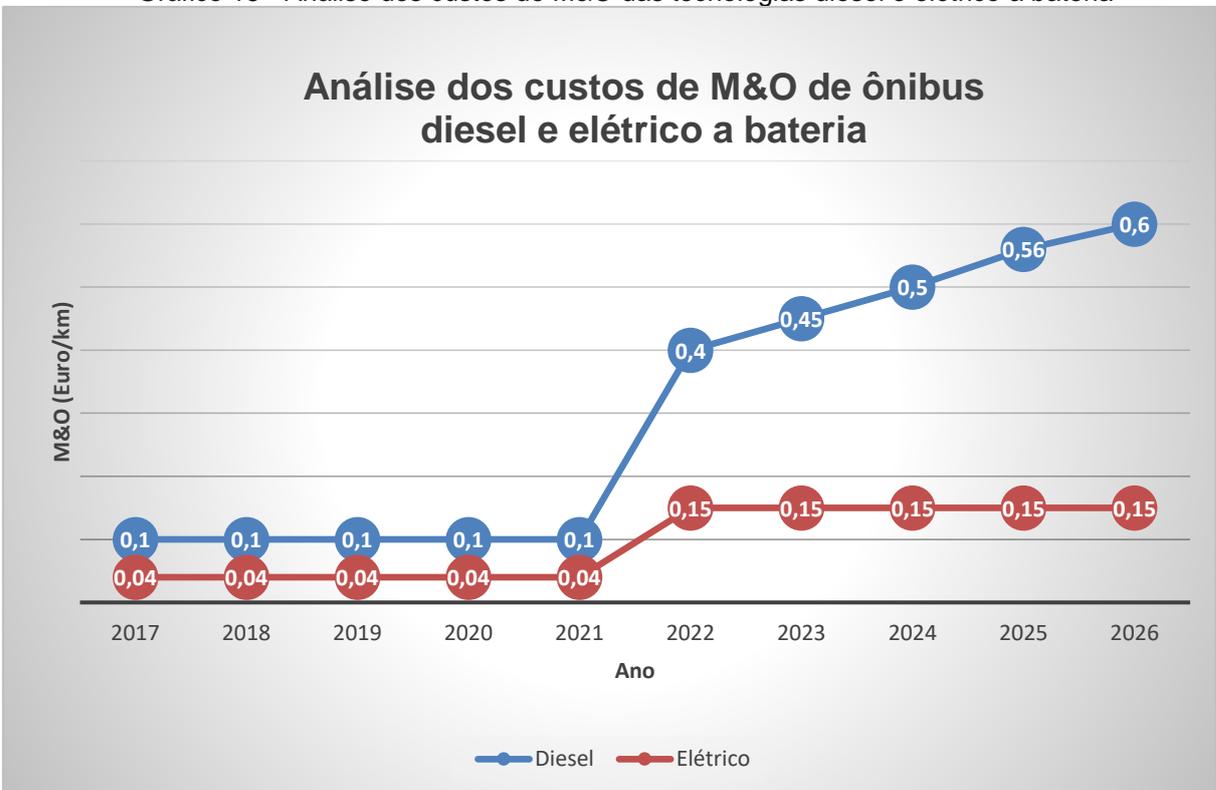
Tabela 18 - Análise dos custos de M&O de ônibus diesel e elétrico a bateria

Ano	M&O a Diesel (€ / km)	M&O Elétrico (€ / km)
2017	0,10	0,04
2018	0,10	0,04
2019	0,10	0,04
2020	0,10	0,04
2021	0,10	0,04
2022	0,40	0,15
2023	0,45	0,15
2024	0,50	0,15
2025	0,56	0,15
2026	0,60	0,15

Fonte: adaptado pelo autor com dados da Fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Os dados da Tabela 18 foram plotados no gráfico 15, a seguir, visando uma melhor análise das performances das tecnologias diesel e elétrico, nos itens de custos de manutenção e operacional (M&O).

Gráfico 15 - Análise dos custos de M&O das tecnologias diesel e elétrico a bateria



Fonte: elaborado pelo autor com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

Segundo Topal; Nakir (2018, p.11), “os futuros custos de M&O por km foram apresentados com base nas condições reais de ônibus diesel e elétrico, em termos de dez anos.”

Considerando a condição da Turquia e as condições operacionais definidas, o custo de M&O por km, para ônibus, elétricos foi calculado em 0,04 € entre o 1º e o 5º ano e em 0,15 € entre o 5º e 10º anos.

Como exemplo de cálculo, considerando a equação 1, a seguir, e os dados da tabela 19, acima, para 500.000 Km, tem-se que para os primeiros cinco anos (2017-2021) que:

- Para o elétrico, com parâmetro de 0,04 o custo de M&O seria de 20.000 Euros; para o diesel, com parâmetro de 0,10, seria de 50.000 Euros, mantendo-se esses custos nesse período de operação, concluindo então que será de 2,5 vezes menor para a tecnologia elétrica a bateria.

- Se for considerada a transição de 2021 e 2022, um custo de 75.000 Euros para o elétrico. Para o diesel esse custo será de 200.000 Euros e nessa condição um custo 2,7 vezes menor para a tecnologia elétrica a bateria.

- Em meados de 2022 até 2026, tem-se que, para o elétrico, se manterá em 75.000 Euros. Para o diesel esse valor será crescente, iniciando em 200.000 Euros e chegando a 300.000 Euros ao final desse período. Se for considerada a média para o diesel será de 250.000 Euros, com isso um custo de 3,4 vezes menor para o elétrico.

O custo da aquisição de um ônibus elétrico a bateria é de aproximadamente 2,8 vezes maior que o diesel. Em um prazo médio de 8 anos, considerando os custos menores de (M&O) do elétrico paga a sua aquisição, viabilizando então a substituição dessas tecnologias naquela cidade da Turquia.

Ressaltam-se então algumas questões importantes para mencionar sobre conceitos de tecnologias elétrica a bateria e diesel dos ônibus em Istambul:

Não há previsão de uso, em médio e a longo prazos, dos ônibus elétricos em Istambul, conforme utilização dos ônibus a diesel, com isso os fabricantes de ônibus elétricos na Turquia e na Europa não tiveram abordagens eficazes e proeminentes para manutenção e reparo. (TOPAL; NAKIR, 2018, p.11).

Neste trabalho, uma nova abordagem deveria ser introduzida, após o exame dos estudos da literatura. Essa abordagem é baseada no custo da bateria e nos custos de M&O para o futuro da tecnologia elétrica, e foram calculados pela Equação 1.

$$\mathbf{Bm\&o}_{(Elet)} = \mathbf{l (km)} \times \mathbf{m_{bkm} (Euro)} ; \text{ (Equação 1)}$$

Onde, $Bm\&o(Elet)$ é o custo total de M&O do ônibus elétrico, l (km) é a distância percorrida em cada linha e m_{bkm} é o custo da M&O por km, considerando o custo do ônibus elétrico, quando $l > 450.000$ km.

Segundo Topal & Nakir, (2018, p.12), duas abordagens diferentes de custos de M&O podem ser definidas aqui para os ônibus elétricos:

- A primeira que o custo da bateria renovada foi adicionado ao custo inicial de compra no final do 5º ano;
- A segunda abordagem foi adicionar o custo da troca de bateria do primeiro ano aos custos de M&O por km.

5.1.1.1 Perspectivas futuras dos custos de combustível

Previsões de preço unitário de combustível para os próximos 10 anos também são estimadas como uma exigência de condições de custo variável. Apesar das diferenças entre os tipos de combustível usados nos conceitos de ônibus, o cálculo aprimorado permite que as variações de custo futuras sejam comparadas sob condições operacionais constantes e variáveis. Para este efeito, as tendências de mudança de custo dos preços unitários do diesel e eletricidade são obtidas com base nos dados históricos.

Segundo Topal; Nakir (2018, p.12), “estimativas de preços futuros dos combustíveis usados nos conceitos de ônibus considerados foram calculadas com base no PIB (Produto Interno Bruto) da Turquia, na população (P) e nos valores do PPI (Índice de Preços ao Produtor).” Em outras palavras, supõe-se que os preços unitários desses tipos de combustíveis são alterados apenas pelo PPI, PIB e P e todos os outros fatores, que afetam o custo e as condições de mercado, são considerados constantes.

Segundo Topal; Nakir (2018, p.12), “em função do preço do combustível nos últimos anos, o preço unitário do diesel e da eletricidade foram estimados pela Equação 2.”

$$\mathbf{Bf (d, e- 2014)} = \mathbf{Bf (d, e- 2004)} \times \mathbf{(1 + \alpha) (2014 - 2004)}; \text{ (Equação 2)}$$

$$\mathbf{(PIB/ PPI/ P)_{2014}} = \mathbf{(PIB/ PPI/ P)_{2004}} \times \mathbf{(1 + \beta) (2014 - 2004)}; \text{ (Equação 3)}$$

Onde d e e, são respectivamente: preços unitários de diesel e eletricidade em 2014, conforme tendência de 2004 - 2014.

Destaca-se que:

A taxa real de aumento nas tendências de mudança de preço unitário para cada tipo de combustível foi obtida pela Equação 2. Da mesma forma, a Equação 3 com base nos valores do PIB, PPI e P (população), taxa de crescimento real também foi calculada para o mesmo período, para a Turquia. (TOPAL; NAKIR, 2018, p.12).

Aqui, tomando a média de ζ valores determinados para cada parâmetro, uma taxa de aumento real baseada no PIB, PPI e P, valores populacionais, dos tipos de combustível é obtida na Equação 4.

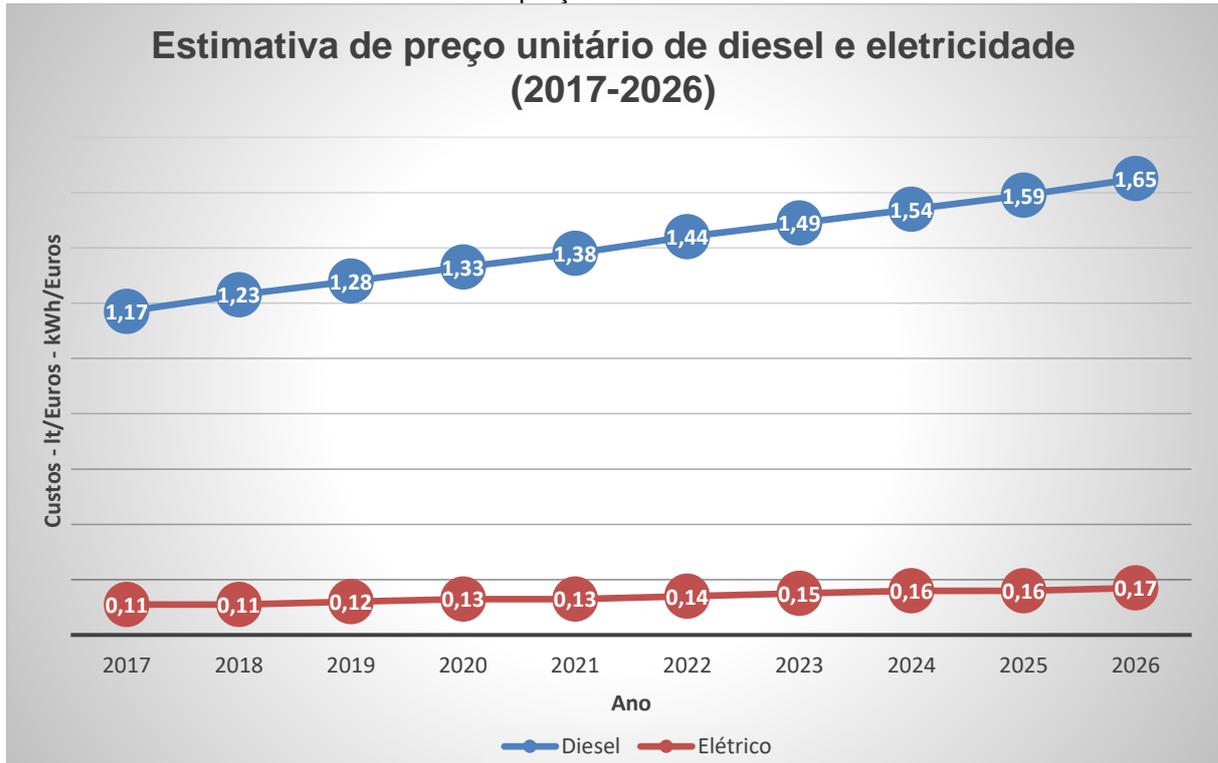
$$\zeta = (1 + \alpha) / (1 + \beta) ; \text{ (Equação 4)}$$

Tabela 19 - Estimativa de preço unitário de diesel e eletricidade (2017-2026)

Ano	ζ - Diesel (lt / €)	ζ - Eletricidade (kWh / €)
2017	1,17	0,11
2018	1,23	0,11
2019	1,28	0,12
2020	1,33	0,13
2021	1,38	0,13
2022	1,44	0,14
2023	1,49	0,15
2024	1,54	0,16
2025	1,59	0,16
2026	1,65	0,17

Fonte: adaptado de (TOPAL; NAKIR, 2018).

Gráfico 16 - Estimativa de preços unitários do diesel e da eletricidade

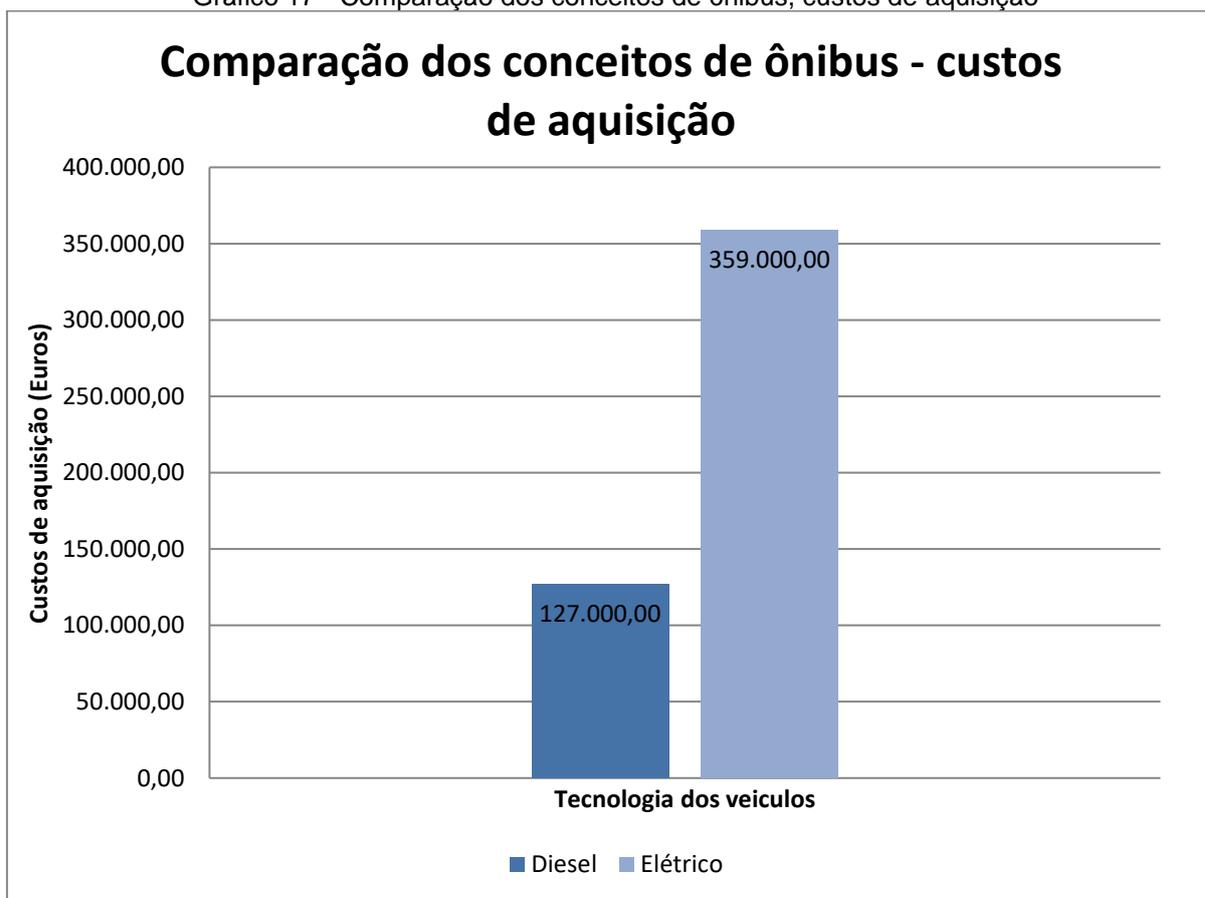


Fonte: elaborado pelo autor com base em: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Como resultado dos cálculos efetuados, a tabela 19 e o gráfico 16, apresentam previsões futuras de preços unitários de diesel e da eletricidade para os anos de 2017–2026, a partir da equação 4.

Ressalta-se, pelo gráfico 16, na estimativa dos aumentos que para o diesel se torna mais significativa, saído de um patamar de 1,17 e fechando em 1,65 Lt/Euro, ou seja com o tempo o consumo de diesel aumenta com o envelhecimento do veículo, o mesmo não acontecendo para o veículo elétrico, cujo consumo se mantém praticamente constante, iniciando com 0,11 e fechando no final do período em 0,17 kWh/Euro.

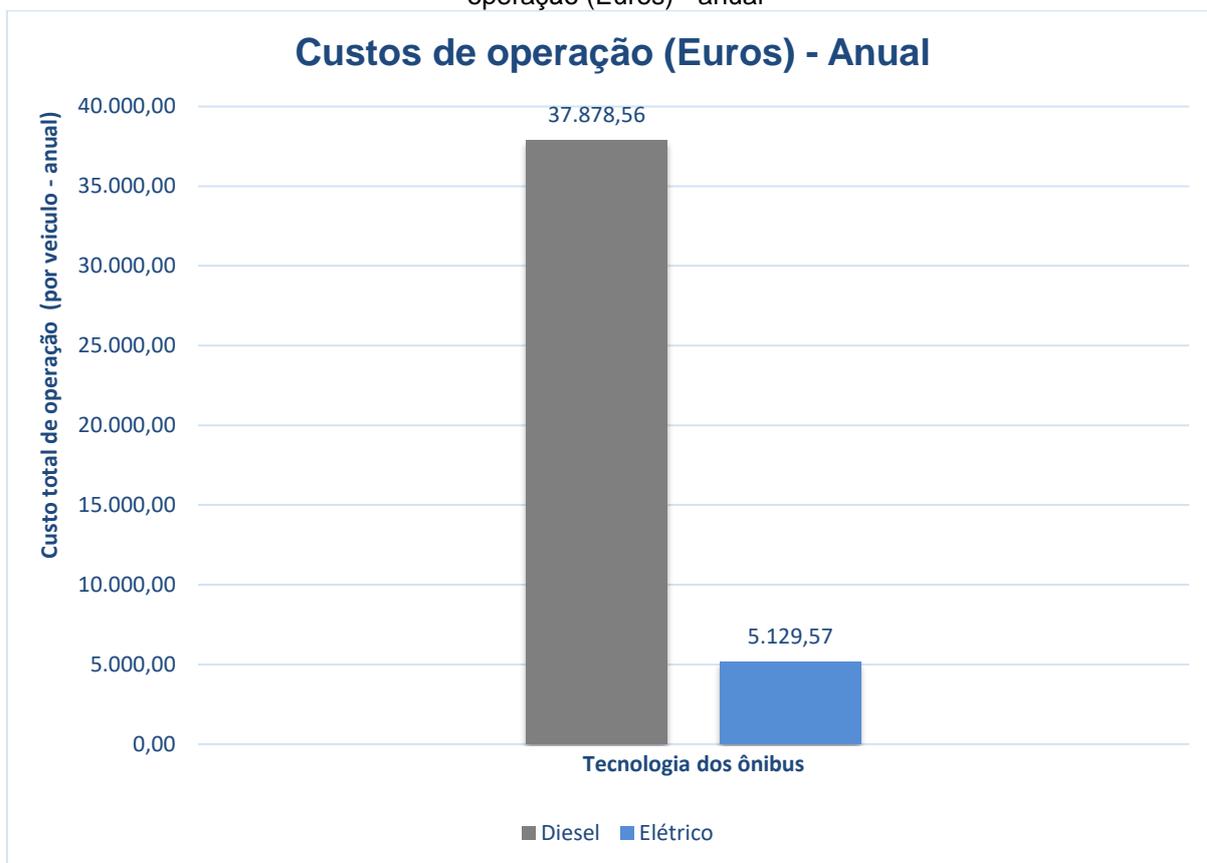
Gráfico 17 - Comparação dos conceitos de ônibus, custos de aquisição



Fonte: Elaboração pelo autor com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

O gráfico 17 comparou os custos de aquisição para cada tecnologia, com destaque de cerca de 3 vezes maior para o custo da aquisição de ônibus elétrico.

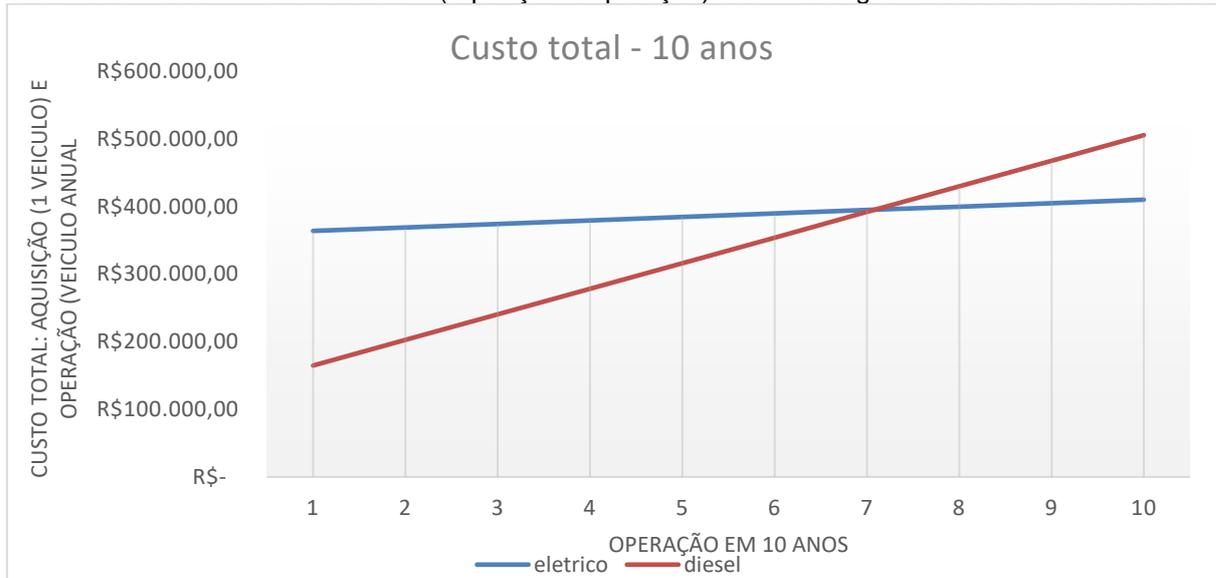
Gráfico 18 - Comparação dos conceitos de ônibus elétrico e diesel, conforme custos totais de operação (Euros) - anual



Fonte: elaborado pelo autor com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

Em termos do custo operacional total para 1 ano, conforme apontado no gráfico 18, foi cerca de 7 vezes menor para a tecnologia elétrico em relação a tecnologia diesel e estima-se, ainda, que o conceito de tecnologia elétrico alcançou 86,45% de lucro, em comparação ao conceito de ônibus diesel.

Gráfico 19 - Custo total em 10 anos (aquisição e operação) das tecnologias diesel e elétrico a bateria



Fonte: elaborado pelo autor com base em (TOPAL; NAKIR, 2018).

Ressalta-se que, conforme apontado no gráfico 19, no ponto inicial, que constam os custos de aquisição dos ônibus, entre o sétimo e oitavos anos, no ponto de intersecção do gráfico, o custo total do ônibus elétrico, aquisição e operação, se iguala ao custo do diesel. Destaca-se, ainda, a partir do sétimo ano, o aumento crescente do custo total da tecnologia diesel, atingindo o valor de 500.000 Euros em 10 anos.

5.1.1.2 - Análise de TCO

Segundo Topal; Nakir (2018, p.13), “A análise de TCO, para qualquer tecnologia, é o tipo mais básico de avaliação de custos e é simplesmente uma estimativa que considera todos os custos diretos e indiretos de um produto ou sistema ao longo de sua vida útil.”

A análise de TCO foi usada pela primeira vez neste estudo para conceitos de ônibus diesel e elétrico para as condições de Istambul. Os resultados dos testes de desempenho em condições reais de rodovias, tempo e viagem, unidade atualizada e preços de combustível são levados em consideração nesta análise. Depois, o conceito de veículo mais apropriado foi determinado, com base nos resultados de desempenho e análise.

A fórmula de TCO para um único ônibus usada neste estudo é dada abaixo para as condições de Istambul com base nos custos unitários médios.

$$\text{TCO} = \text{TCO}_s + \text{TCO}_d ; \text{ (Equação 5)}$$

Onde, TCO_s representam os custos fixos e TCO_d os custos variáveis, para os conceitos de veículos abordados.

$$\text{TCO}_s = \text{Mo} + (\text{P} / 250); \text{ (Equação 6)}$$

$$\text{TCO}_d = (\text{mbkm} + \text{Bf}_{(d,e)} + \text{Ghg}) \times (\text{lkm} \times \text{t}); \text{ (Equação 7)}$$

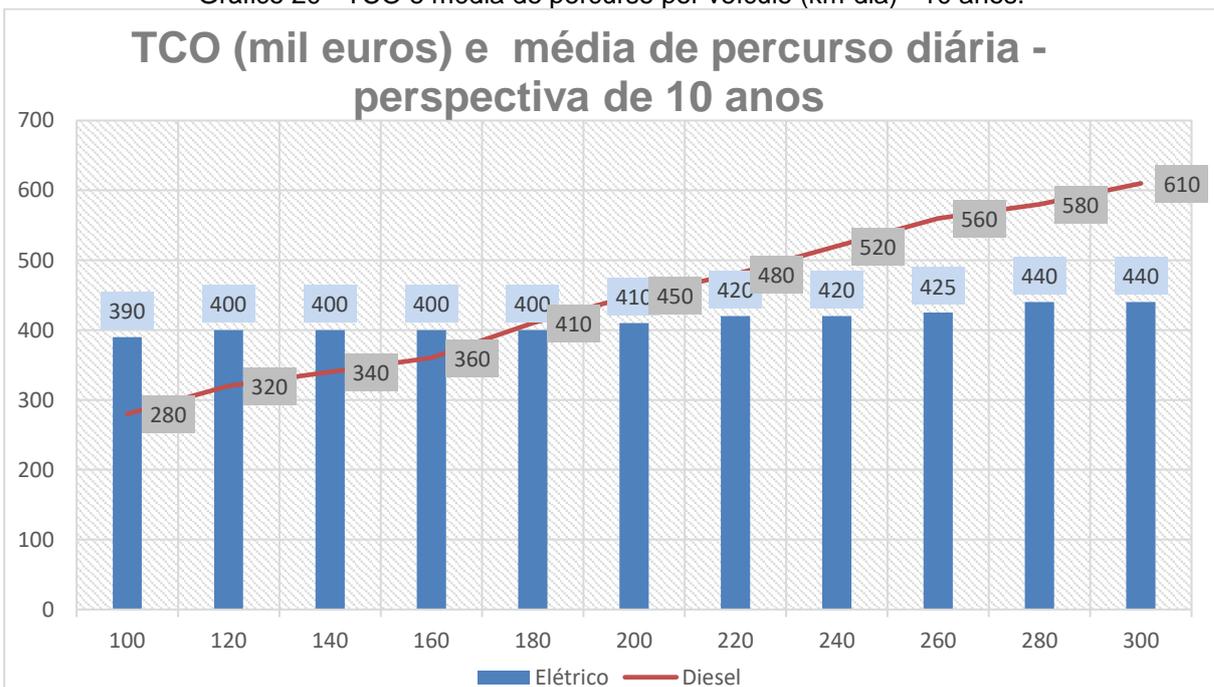
Onde:

- Mo é o custo de aquisição de veículo, para 1 veículo;
- P é o custo de instalação de infraestrutura, garagem, para 250 veículos (para ônibus diesel e elétrico);
- mbkm custo de manutenção por km;
- $\text{Bf}_{(d,e)}$ é o custo médio de combustível por km;
- Ghg é o valor financeiro do efeito de emissão de gases com efeito de estufa;
- t é a variante temporal e lkm é a variante do intervalo diário.

Conforme Topal; Nakir (2018, p.13), “neste trabalho ($\text{lkm} \times \text{t}$) foi igual a (10 anos \times 360 dias \times 82% \times 180,24 km/dia-ônibus.”

Os custos de manutenção, reparo (defeito ou quebra do veículo) e de combustível nesta fórmula são baseados nas condições IETT especificadas para o período de 10 anos, onde são usados os valores médios obtidos.

Gráfico 20 - TCO e média de percurso por veículo (km-dia) - 10 anos.



Elaboração pelo autor com dados da fonte: (TOPAL; NAKIR, 2018).

Os dados, apontados no gráfico 20, representam ao longo de 10 anos, que o custo médio de TCO se mantém em torno de 400.000 Euros, para a tecnologia elétrica.

Na tecnologia Diesel, com um custo inicial em torno de 280.000, que ao longo do tempo aumenta de forma significativa, chegando a valores de 610.000 Euros, apontando uma média de 440.000 Euros, ao final dos 10 anos.

Próximo ao ponto intersecção, apontado no gráfico 19, onde as despesas praticamente se igualam, tem-se uma quilometragem/dia de 180 km, parametrizada ao longo dos 10 anos, com um custo médio de 400.000 Euros, para o TCO, na comparação das duas tecnologias.

A partir desse ponto os custos aumentam para o diesel e permanecem praticamente constantes para o elétrico

Ressalta-se que o TCO contempla os custos variáveis e os custos fixos, de manutenção e de operação, bem como o valor de aquisição de 1 veículo, conforme variáveis apontadas nas equações 5, 6 e 7.

5.1.1.3 Análise do período de retorno - Payback (PB)

Usando o método do valor do dinheiro no tempo, inflação, os seguintes resultados foram obtidos neste estudo, segundo Topal; Nakir (2018, p.14):

- Os custos iniciais de aquisição e instalação de infraestrutura, do conceito de ônibus elétrico, foram consideravelmente maiores do que os conceitos de diesel;
- Em termos de custos operacionais, o conceito de tecnologia elétrica apresenta vantagens consideráveis.

No estudo, análises financeiras foram realizadas para determinar o melhor conceito de ônibus adequado para Istambul. Para tanto, foram realizadas análises de TCO, onde considerou-se: a compra inicial e os custos operacionais anuais dos conceitos de ônibus elétrico e diesel. Em seguida, os resultados referentes ao conceito de ônibus público foram comparados com o período de Payback (PB):

Nestes cálculos, os pressupostos apresentados neste artigo para a abordagem do sistema de transportes públicos foram: os preços unitários determinados para os ônibus diesel, comprados pelo IETT em 2013, e os preços unitários dos elétricos comprados pela ESHOT, concessionária de Istambul, em agosto de 2016. Além disso, os dados atuais do IETT são usados para preços unitários de combustível e custo de M&O. (TOPAL; NAKIR, 2018, p.14).

O custo resultante do impacto das emissões de GEE, devido a poluição mundial de carbono, está incluído no TCO para ônibus diesel, e o efeito de emissão de GEE para os ônibus elétricos é considerado como zero, conforme Ghg, da Equação 7.

Adotou-se o método usado para o valor do dinheiro no tempo, que foi o Payback Period (PB), que é dado, conforme Equação 8.

$$PB = Mo / (G - M); \text{ Equação 8}$$

Onde G é a receita anual média por ônibus, M é o custo operacional anual por ônibus e Mo o custo de compra, em acordo com a Equação 5, que calcula os custos fixos e variáveis.

Segundo Topal; Nakir (2018, p.15), “o Payback, tempo de retorno do investimento, apresentou 2 anos e 10 meses para o diesel e 5 anos e 8 meses para o elétrico.”

5.1.2 Resultados e discussões do modelo de Istambul

Na comparação das duas tecnologias (diesel x elétrico a bateria) os dados do estudo apontaram vantagem para a tecnologia elétrica nos itens relativos ao custo de manutenção e operacional.

Na questão do custo de aquisição de um veículo de cada tecnologia, aponta-se uma vantagem de custo mais baixo para a tecnologia diesel.

Os dados, apontados no gráfico 20, acima representam uma quilometragem diária de 174,85 km, equivalente ao ponto comum das duas tecnologias, com custo aproximado de 400.000 Euros para as duas tecnologias. Ressalta-se que a partir desse ponto os custos aumentam de uma forma significativa para a tecnologia diesel, chegando a 600.000 Euros ao final de 10 anos e permanecendo constante para a tecnologia elétrica.

Nesse contexto pode-se concluir que ao longo de aproximadamente oito anos, conforme apontado nos gráficos comparativos das tecnologias diesel e elétrica, os custos menores de manutenção e de operação compensam o custo maior na aquisição da tecnologia elétrica a bateria, segundo o conceito de TCO, custo total de propriedade.

Na questão do incentivo à viabilização de aquisição de veículos da tecnologia elétrica a bateria, nota-se uma garantia menor do fabricante, conforme esclarece Topal; Nakir (2018, p.11):

Os fabricantes fornecem apenas de dois a cinco anos de garantia para ônibus elétricos, ao contrário dos conceitos de ônibus a diesel na Turquia, onde as abordagens de garantia, de manutenção e reparo são sem limite de quilometragem e não se aplicam aos ônibus elétricos (TOPAL; NAKIR, 2018, p.11).

5.2 No contexto mundial - EUA – Califórnia

Outro projeto de implantação de ônibus com tecnologia elétrica a bateria foi estudada por Miller et al. (2018), na Califórnia - EUA.

O foco determinante, para a viabilização dessa implantação, deveu-se a problemas de saúde apresentados pelos estudantes, naquele estado. Essa questão da saúde pública foi pesquisada pela universidade local, que constatou que as crianças apresentavam problemas de saúde, decorrentes da poluição gerada pelos ônibus escolares a diesel.

Nesse projeto foram testados os ônibus elétricos e comparou-se com os de tecnologia diesel, em operação.

Nesse contexto, destacar-se-á esse projeto de implantação de ônibus escolares, visando o atendimento a essa questão da saúde, abordada em pesquisa na Universidade da Califórnia, EUA:

As crianças são mais vulneráveis aos efeitos negativos para a saúde causados pela poluição do ar, considerando que seus sistemas respiratórios ainda estão se desenvolvendo e inalam mais ar por quilo de peso do que adultos. A poluição por diesel é especialmente perigosa para crianças, não há um nível seguro estabelecido de exposição a poluentes de escapamento de diesel. Numerosos estudos descobriram que a poluição do ar prejudica os pulmões de uma criança, especialmente se a criança já sofre de asma. Um estudo realizado em 2010 por pesquisadores da Universidade de Stanford e da Universidade da Califórnia, em Berkeley, relacionou a exposição à poluição do ar com a genética alterada em crianças com asma na Califórnia. (MILLER et al., 2018, p.8).

Em decorrência dessas pesquisas resolveu-se pensar na troca, especificamente dos ônibus escolares, que transportavam essas crianças.

Abordar-se-á essa experiência dos EUA, do estado da Califórnia, tal como foi feito com Istambul. Nesse contexto foram analisados os dados levantados das tecnologias diesel e elétrico, possibilitando uma comparação desses levantamentos com as informações, que foram obtidas em Istambul e no Brasil.

No caso específico da Califórnia, destaca-se que:

Substituir todos os ônibus escolares da América por ônibus elétricos poderia evitar uma média de 5,3 milhões de toneladas de emissões de gases de efeito estufa a cada ano e poderia economizar mais de 3 bilhões em custos de diesel para os distritos escolares. (MILLER et al., 2018, p.11).

Em relação ao custo, mais significativo das baterias, conforme Miller et al. (2018, p.14), “quedas drásticas nos custos de bateria e melhorias no desempenho, incluindo a ampliação do driving range (autonomia), tornaram os ônibus elétricos uma alternativa viável aos ônibus a diesel e outros combustíveis fósseis.”

Na questão do aumento da frota de ônibus escolares elétricos a bateria nos EUA, segundo Miller et al. (2018, p.21), “Prefeitos de 16 cidades da Califórnia, representando quase 8 milhões de pessoas, enviaram uma carta em janeiro de 2018 em apoio à proposta estadual que exigiria que todas as frotas da Califórnia fossem 100% elétricas até 2029.”

Algumas estratégias para possibilitar locação de verbas, que foram propostas, visando uma ampliação de ônibus com a tecnologia elétrica serviram para apoiar uma adoção mais ampla e nesse contexto os governos estaduais deveriam, segundo Miller et al. (2018, p. 27):

- Alocar dinheiro conforme o acordo “Dieselgate”³ da Volkswagen para subsidiar a compra de ônibus escolares e de trânsito, além de carregar a infraestrutura;
- Criar programas de incentivo e subsídios para agências de transporte público, distritos escolares e contratados de ônibus para ajudar a financiar o custo inicial de ônibus elétricos e infraestrutura de recarga;
- Facilitar a instalação da infraestrutura de cobrança por meio de programas que ajudem a cobrir os custos;
- Incentivar as concessionárias a projetar em suas tarifas de forma a apoiar os ônibus elétricos;
- Considerar programas de financiamento de baixo custo que ajudem agências, distritos e empreiteiros de ônibus a alavancar outras fontes de financiamento, como o dinheiro da liquidação da Volkswagen;

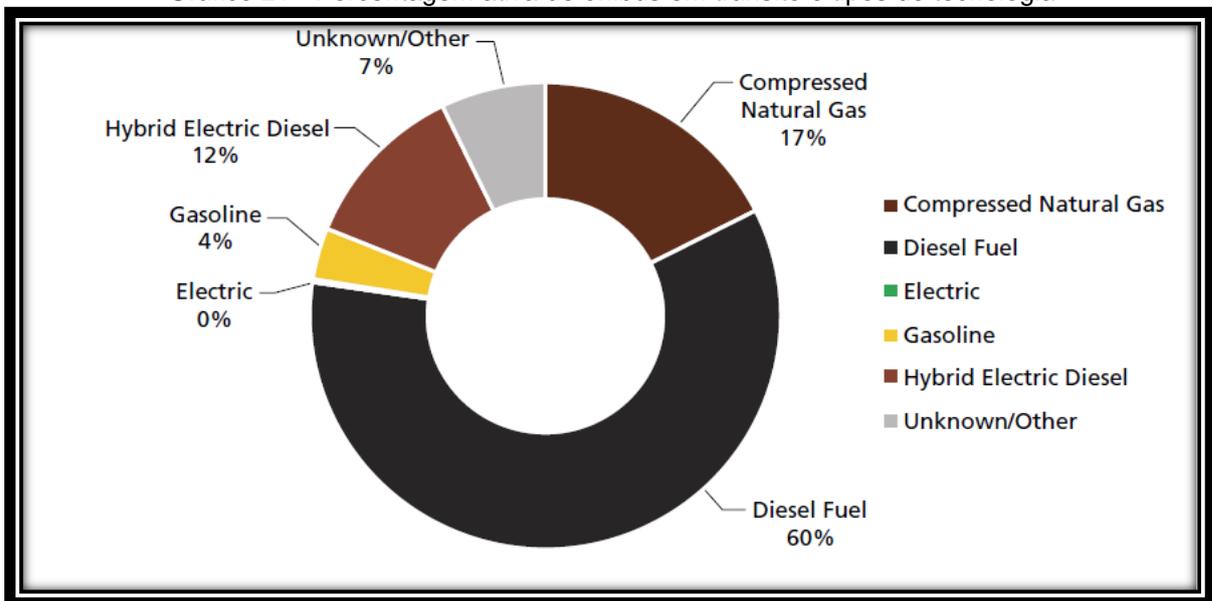
³ O recente acordo no caso “Dieselgate”, que resultou da violação deliberada da Volkswagen (VW) aos padrões de ar limpo, concedeu bilhões de dólares para que as autoridades estaduais e locais invistam no transporte de emissão zero. Do acordo, US\$ 2,7 bilhões criaram um Mitigation Trust que aloca fundos para os estados para substituir veículos pesados, incluindo ônibus escolares e de trânsito e infraestrutura de cobrança (MILLER et al., 2018).

- Identificar outras maneiras de garantir a eletrificação bem-sucedida de ônibus, incluindo assistência técnica e pesquisa, bem como a publicação de dados e lições aprendidas.

Com relação às concessionárias, denominadas de Agências de trânsito, distritos escolares e empreiteiros de ônibus, segundo Miller et al. (2018, p. 27) devem:

- Substituir os ônibus movidos a combustíveis fósseis pela tecnologia mais limpa possível para a saúde das gerações futuras: totalmente elétrica;
- Adotar metas para repotencializar toda a frota com ônibus elétricos ao longo de um ciclo de substituição;
- Pedir aos governos estaduais e agências beneficiárias para dedicar fundos do acordo da Volkswagen aos ônibus elétricos;
- Preparar-se para a futura adoção de ônibus elétricos, executando conduítes elétricos necessários para carregar a infraestrutura durante qualquer nova construção ou reconstrução de depósitos e estacionamentos.

Gráfico 21 - Porcentagem ativa de ônibus em trânsito e tipos de tecnologia



Fonte: (MILLER et al., 2018).

Tradução:

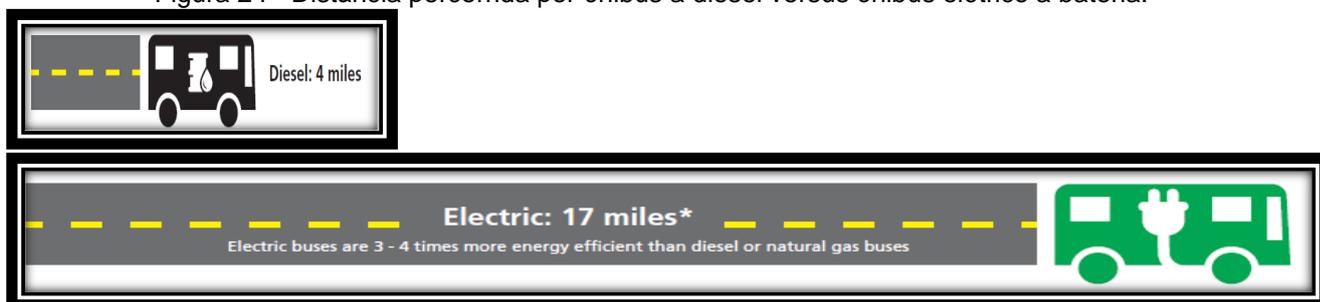
- Compressed Natural Gas - Gás Natural Comprimido.
- Diesel Fuel – Combustível Diesel.
- Electric – Elétrico.
- Gasoline – Gasolina.
- Hybrid Electric Diesel - Híbrido Elétrico e Diesel.
- Unknown/Other – Desconhecido/Outros.

O gráfico 21 aponta a porcentagem dos ônibus em circulação, bem como as diferentes tecnologias.

Destaca-se, de acordo com o National Transit Database de 2016, registrado pelo Departamento de Transportes:

Que 60% dos ônibus que operam nos EUA, mais de 40.000 de 67.000 no total eram ônibus convencionais movidos a diesel e menos de 1% dos ônibus de transporte público eram movidos inteiramente por eletricidade.” (MILLER et al., 2018, p. 12).

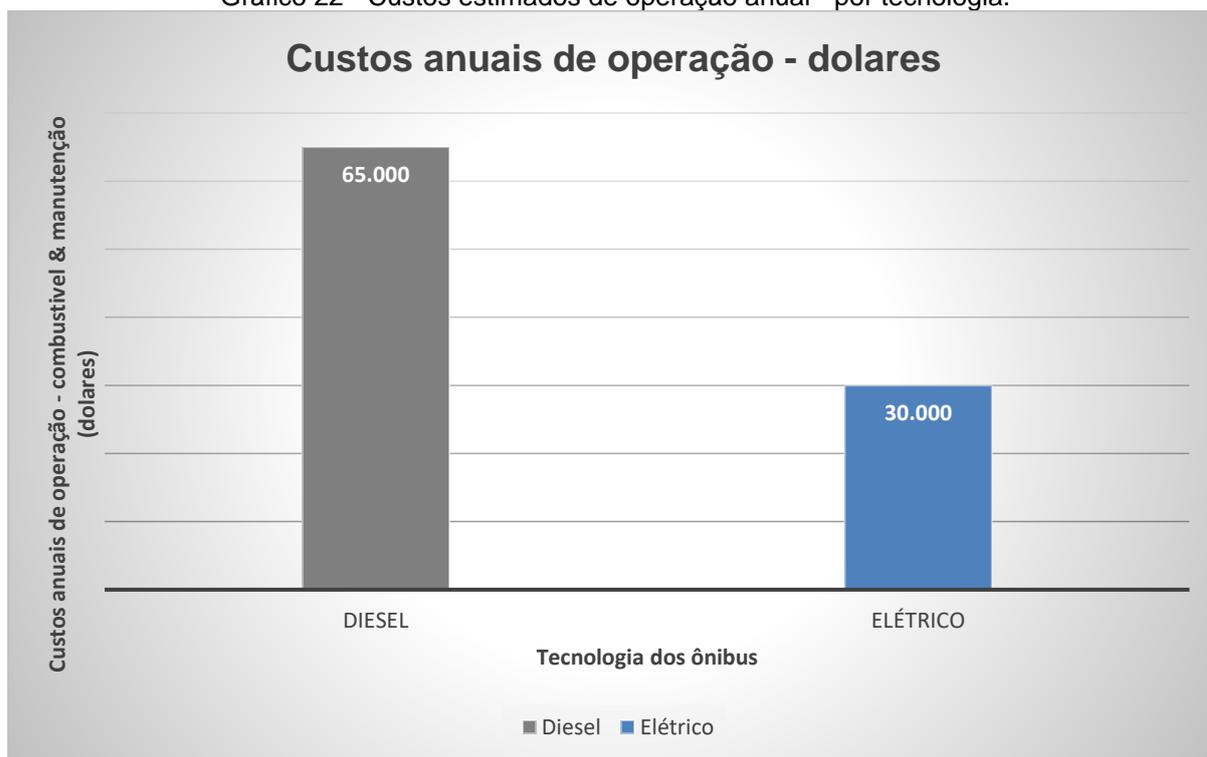
Figura 24 - Distância percorrida por ônibus a diesel versus ônibus elétrico a bateria.



Fonte: (MILLER et al., 2018).

Na figura 24, destaca-se que os ônibus a diesel percorrem em média 4 milhas ($4 \times 1,6 \text{ km} = 6,4 \text{ km}$) por galão (3,8 litros) e os ônibus elétricos percorrem uma distância de quatro vezes mais, 25,6 km, quando comparado a tecnologia dos ônibus a diesel, considerando o equivalente em energia (kWh) a 1 galão de diesel.

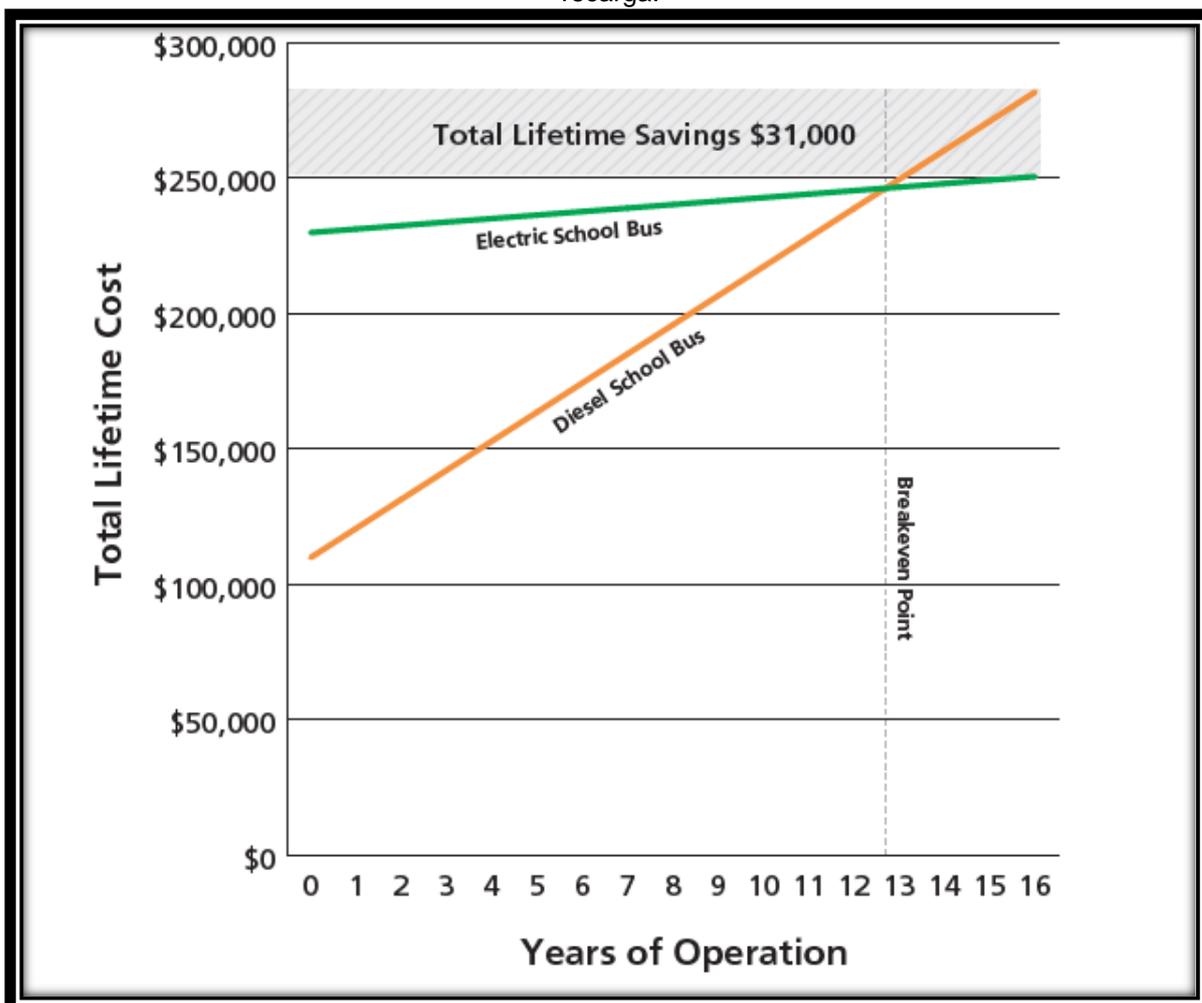
Gráfico 22 - Custos estimados de operação anual - por tecnologia.



Elaborado pelo autor com dados da fonte: (MILLER et al., 2018).

No gráfico 22, ressaltam-se os custos anuais relativos a operação, combustível, e os de manutenção, com destaque de custo da tecnologia elétrica, cerca de 2,0 vezes menor que a tecnologia a diesel.

Gráfico 23 - Custos no tempo de vida: aquisição, operação, receita de energia e infraestrutura de recarga.



Fonte: (MILLER et al., 2018).

Tradução:

- Total Lifetime Cost - Custos totais ao longo do tempo de operação.
- Total Lifetime Savings - Poupança total ao longo do tempo de operação.
- Breakeven Point - Ponto de Equilíbrio.
- Years of Operation - Anos de Operação.
- Electric School Bus - Ônibus elétrico escolar.
- Diesel School Bus - Ônibus diesel escolar.

O gráfico 23 apresenta o Total Lifetime Cost, das tecnologias diesel e elétrica, incluindo a aquisição, operação, receita de energia e infraestrutura de recarga.

Destaca-se, ainda, o Total Lifetime Savings, no valor de US\$31.000, para a tecnologia elétrica, apontado como outros custos desnecessários, como a troca da bateria do ônibus, que tem uma durabilidade de longo prazo.

O Breakeven Point, próximo dos 13 anos de operação, apontado na intersecção das retas, representa o tempo para que os custos das tecnologias diesel e elétrica se comparem, incluindo a necessidade da troca da bateria nesse período.

Conforme aponta o gráfico 23, um ônibus escolar a diesel custa cerca US\$ 110 mil e um ônibus escolar elétrico custa cerca US\$ 230 mil, incluindo infraestrutura de recarga, concluindo que os custos operacionais reduzidos do ônibus elétrico compensam a diferença.

Existe uma tendência de crescimento desse mercado:

O incipiente mercado de ônibus escolares elétricos está crescendo à medida que mais fabricantes começam a oferecer opções; por exemplo, o fabricante de ônibus escolar Blue Bird começou a implantar ônibus elétricos em 2018, enquanto Thomas seguirá em 2019. (MILLER et al., 2018, p. 14).

Na abordagem desse projeto piloto, destacam-se:

Os resultados iniciais de um programa piloto de ônibus escolar de seis veículos, financiados pela Iniciativa Global Clinton, ilustram como as escolas podem potencialmente economizar dinheiro com ônibus elétricos. Sua análise revelou que um ônibus elétrico economiza quase US\$ 2.000 por ano em combustível e US\$ 4.400 por ano em custos de manutenção reduzidos. (MILLER et al., 2018, p. 14).

As baterias dos ônibus elétricos são recarregadas pela energia da rede elétrica, possibilitando a continuidade de atendimento dos percursos das suas rotas. Essa recarga, sendo feita fora dos horários de pico de consumo, terão custos menores, aumentando com isso a viabilidade dessa tecnologia. Com mecanismos de preços e acordos apropriados com as concessionárias de energia elétrica, as operadoras de ônibus elétricos podem se beneficiar de incentivos financeiros que amenizam o custo da cobrança quando a demanda é baixa.

As baterias usadas de ônibus elétrico também podem ser reaproveitadas para armazenamento de energia fotovoltaica, no final da vida útil dos ônibus, o que pode ajudar a suportar as novas demandas da rede elétrica.

Finalmente, a nova tecnologia de Geração Distribuída, a partir da energia solar ou eólica, permitirão que se enviem energia armazenada de volta à rede, quando a geração de energia é maior que a demanda de carga dessas baterias, com isso reservando e vendendo eletricidade em tempos de alta demanda dessa rede elétrica.

Por exemplo: se um ônibus escolar tivesse energia extra depois de levar as crianças para casa à tarde, ele poderia se conectar à rede e vender o excesso de energia de volta à rede elétrica durante as primeiras horas da noite, quando a demanda ainda é alta.

Esses recursos, dos veículos elétricos, de retorno de energia à rede elétrica, poderiam ajudar os distritos escolares a tornar as finanças dos ônibus elétricos menos onerosas.

Em relação aos benefícios de retorno de energia a rede destacou (MILLER et al., 2018, p. 16), “uma análise de 2014, de pesquisadores da Universidade de Delaware, estimou que um ônibus escolar poderia gerar mais de US\$ 15.000 vendendo energia de volta à rede, proporcionando benefícios líquidos após cinco anos de operação.”

Ainda, em relação a esses projetos aponta-se:

Projetos piloto iniciais com ônibus escolares elétricos em três distritos escolares na Califórnia descobriu que cada ônibus poderia gerar mais de US\$ 6.000 a cada ano ao enviar eletricidade extra de volta à rede elétrica durante períodos de alta demanda.” (MILLER et al., 2018, p. 16).

Ao fornecer uma fonte de armazenamento de energia, os ônibus elétricos poderiam apoiar uma transição para uma rede alimentada por energia renovável, ajudando a incorporar fontes variáveis de energia renovável, como eólica e solar, à rede. Ônibus escolares podem ser particularmente importantes para ajudar a integrar a energia solar, uma vez que eles são tipicamente estacionados e podem carregar durante a produção de pico solar no meio do dia.

Gráfico 24 - Custos estimado de combustível e manutenção, na vida útil, por tecnologia.



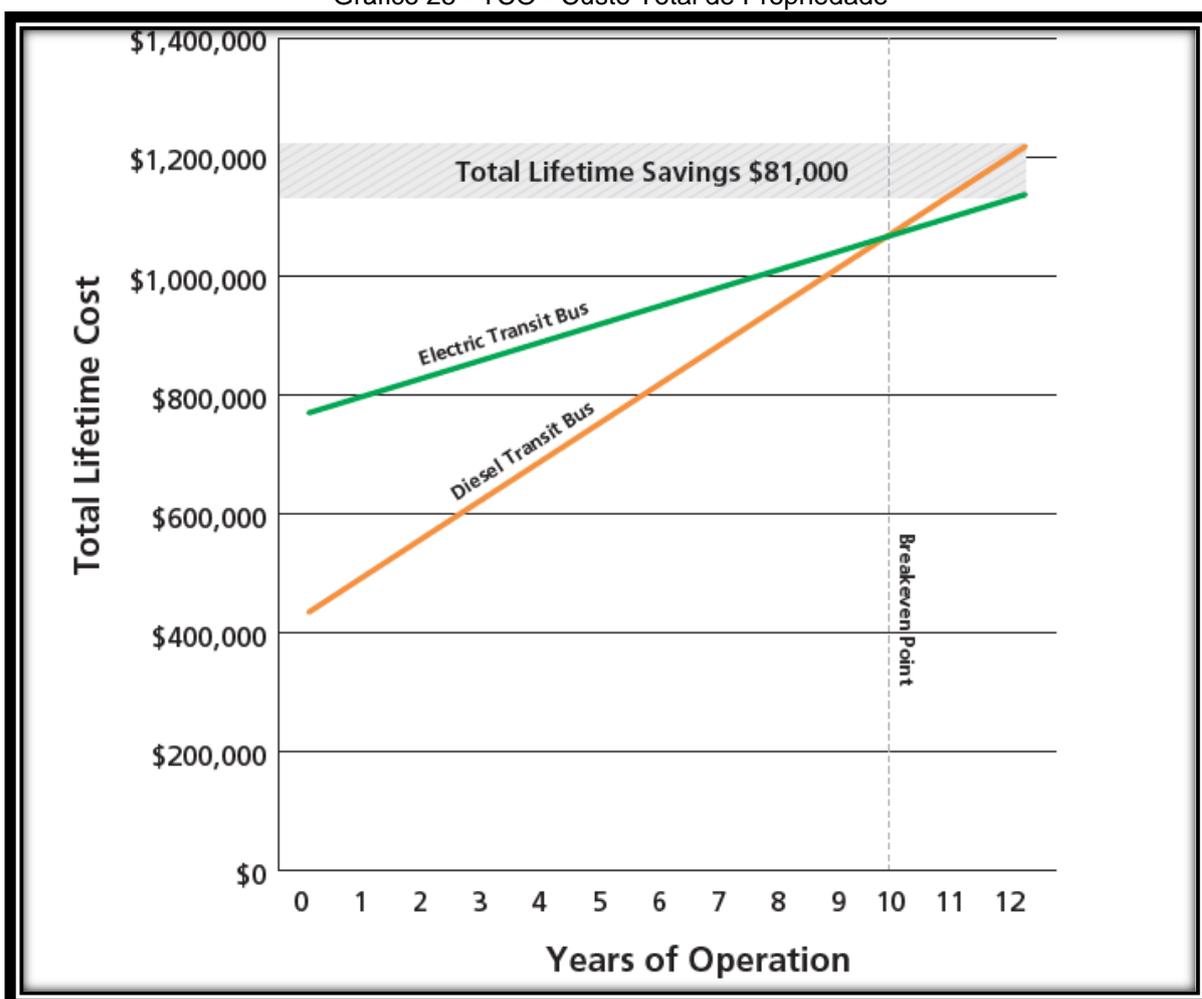
Elaborado pelo autor com dados da fonte: (MILLER et al., 2018).

O gráfico 24 aponta que ao longo da vida útil, os itens manutenção e combustível, nos ônibus elétricos a bateria apresentam custos de cerca de 2,5 vezes menor que a tecnologia diesel, com isso equilibrando o seu custo de aquisição ao longo do tempo.

Outras vantagens podem ser incorporadas:

Os ônibus elétricos a bateria podem ser mais acessíveis do que os ônibus de combustível fóssil no longo prazo, pois têm 30% menos peças, sistemas de exaustão, sistemas de frenagem mais duradouros e não exigem trocas de óleo ou combustíveis fósseis. Segundo estudos de ônibus elétricos atualmente em operação, ônibus elétricos economizam pelo menos US\$ 0,19 por milha em custos de manutenção mais baixos. Ao longo da vida útil do ônibus, um ônibus elétrico pode reduzir centenas de milhares de dólares em custos operacionais sobre um ônibus diesel, com custos mais baixos de combustível e manutenção. De acordo com uma análise da Califórnia Air Resources Board, um ônibus elétrico comprado em 2016 pode economizar US\$ 458.000 em custos de combustível e manutenção comparado a um ônibus a diesel." (MILLER et al., 2018, p. 16).

Gráfico 25 - TCO - Custo Total de Propriedade



Fonte: (MILLER et al., 2018).

Tradução:

- Total Lifetime Cost - Custos totais ao longo do tempo de operação - TCO.
- Total Lifetime Savings - Poupança total ao longo do tempo de operação.
- Breakeven Point - Ponto de Equilíbrio.
- Years of Operation - Anos de Operação.
- Electric School Bus - Ônibus elétrico escolar.
- Diesel School Bus - Ônibus diesel escolar.

Apesar dos ônibus elétricos a bateria, hoje em dia, ainda serem mais caros do que sua contraparte a diesel, os ônibus elétricos podem pagar por si mesmos dentro de 10 anos de operação, conforme apontado no gráfico 25 no seu Breakeven Point, considerando a economia de combustível e custos de manutenção reduzidos. O referido gráfico aponta o TCO - Custo Total de Propriedade (Total Lifetime Cost) das tecnologias diesel e elétrica e o Total Lifetime Savings a cada ano.

Essa questão das vantagens de custo e de acordo com o fabricante de ônibus dessa tecnologia New Flyer:

A New Flyer, maior fabricante de ônibus da América do Norte, diz que sua versão elétrica começa em US\$ 700 mil. Durante a vida útil do ônibus, a empresa estima que o ônibus elétrico economize US\$ 400.000 em despesas de combustível e US\$ 125.000 em custos de manutenção evitados, compensando o diferencial de custo inicial. (MILLER et al., 2018, p.16).

Outro fabricante de ônibus elétrico, a Proterra, também aponta as vantagens da aquisição dessa tecnologia:

A Proterra diz que seu ônibus elétrico a bateria convencional custa US\$ 750.000, comparado a US\$ 500.000 para um ônibus convencional a diesel. A companhia estima que seus ônibus elétricos oferecem economia de combustível e manutenção de até US\$ 50.000 por ano, comparado aos ônibus movidos a combustível fóssil, o que significa que as agências de trânsito podem recuperar o custo extra em cinco a sete anos, dependendo do preço de compra do ônibus e variáveis de custo operacional, considerando a economia anual e durante a vida útil do ônibus. (MILLER et al., 2018, p.16).

As economias apontadas na aquisição de ônibus elétricos a bateria, não são únicas nesse contexto. Os enormes benefícios, na questão da sustentabilidade e de saúde pública, são de extrema relevância e conforme gráfico 25:

Essas economias não levam em consideração os benefícios dos ônibus elétricos para o meio ambiente e a saúde pública, como o ar mais limpo e menos poluição. A Autoridade de Trânsito de Chicago, que em 2014 tornou-se a primeira grande agência de transportes dos EUA a operar um ônibus elétrico, estima que um único ônibus elétrico economiza à cidade em média US\$ 81.000 por ano: US\$ 26.000 em combustível e US\$ 55.000 em despesas de saúde evitadas. (MILLER et al., 2018, p.18).

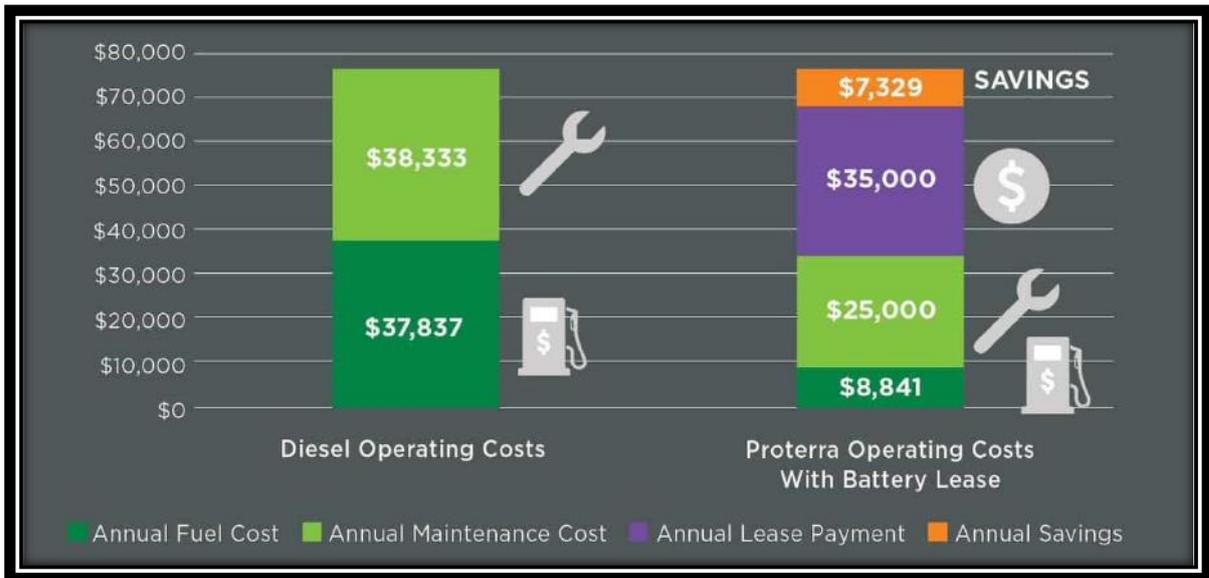
Na questão do payback e tempo de uso da tecnologia elétrica a bateria, aponta-se segundo Miller et al. (2018, p.15), “no entanto, o ônibus escolar elétrico a bateria economizou US\$ 10.500 por ano ao longo de sua vida útil de 16 anos, pagando o custo inicial extra em menos de oito anos e continuando a oferecer economia nos anos seguintes.”

5.2.1 Financiamento e Leasing para aquisição de ônibus elétrico a bateria

Nos EUA, a empresa PROTERRA, uma das maiores fabricantes de ônibus elétricos à bateria do país, tem destacado as vantagens da comercialização desses veículos por meio de leasing ou arrendamentos. Esses programas possibilitam igualar os custos de aquisição dos veículos a diesel e elétricos a bateria:

As agências de trânsito também podem utilizar programas de financiamento e leasing através dos próprios fabricantes de ônibus. Por exemplo, como o custo incremental mais alto para ônibus elétricos é a bateria, a Proterra iniciou um programa de aluguel de baterias. Esse sistema permite que os clientes comprem um ônibus elétrico pelo mesmo custo de um ônibus a diesel, enquanto o Proterra mantém a propriedade da bateria. (MILLER et al., 2018, p.26).

Gráfico 26 – Custos operacionais, poupança e financiamento por “leasing” (locação) diesel e elétrico a bateria



Fonte: (PROTERRA, 2019).

Tradução:

- Annual Fuel Cost - Custo Anual de Combustível.
- Annual Maintenance Cost – Custo Anual de Manutenção.
- Operatings Costs With Baterry Lease – Custos de Operação com a Locação da Bateria.
- Annual Savings – Economia Anual.
- Annual Lease Payment – Pagamento Anual do Leasing da Bateria.

O gráfico 26 aponta essas questões da vantagem do “leasing” (aluguel) das baterias e destaca o Annual Maintenance Cost e o Annual Fuel Cost, para o diesel e para o elétrico a bateria. Operatings Costs With Baterry Lease e Annual Savings de 7.329 dólares, para o elétrico a bateria, resultam no mesmo custo anual do diesel, incluindo também o Annual Lease Payment.

A Proterra pratica três modalidades de arrendamentos, segundo Proterra (2019):

Arrendamento Capital Municipal: Uma ferramenta de financiamento geralmente de baixo custo para governos locais com créditos de grau de investimento. Oferece propriedade estruturada que permite a posse definitiva do veículo no final do prazo da concessão.

Arrendamento operacional: Os arrendamentos operacionais permitem que se pague pelo uso de um ônibus ao longo do tempo, com a opção de fazer a transição permanente do ônibus para sua frota.

Arrendamento da bateria: Um aluguel de bateria permite que se adquira o ônibus elétrico a bateria por aproximadamente o mesmo valor de um veículo a diesel,

economizando operacionalmente com o aluguel da bateria. A Proterra é responsável pelo desempenho das baterias durante a vida útil do contrato, eliminando o risco do operador.

Figura 25 - Ônibus a bateria da empresa Proterra, utilizado para transporte escolar na Califórnia - EUA.



Fonte: (MILLER et al., 2018).

A figura 25 ilustra o ônibus elétrico a bateria (plug-in), da fabricante Proterra, que substituirá os antigos ônibus escolares à diesel em circulação na Califórnia.

5.2.2 Resultados e discussões do modelo da Califórnia

Esse modelo de projeto foi proposto em decorrência de problemas de saúde, que foram apontados por estudos das universidades locais.

Na questão das distâncias percorridas pelas tecnologias diesel e elétrica, adotando o mesmo consumo de energia, apontam-se que para o elétrico a distância foi 4 vezes maior.

Na questão dos custos da operação, do combustível e da manutenção a tecnologia elétrica apresentou a melhor performance com um valor duas vezes menor que o diesel.

Na questão dos custos de operação, infraestrutura e de entrada para aquisição do veículo, no contexto do tempo de vida de cada tecnologia aponta-se que no ponto de intersecção ou ponto de equilíbrio das duas tecnologias, valor aproximado de 13 anos para o payback do elétrico. Destaca-se, ainda, uma poupança ao longo desse

tempo de 31.000 dólares, que se refere a questão da não necessidade da troca da bateria, em face da sua durabilidade atingir longo prazo.

Na questão dos custos operacionais e de manutenção ao longo da vida dessas tecnologias, destaca-se uma vantagem nos custos do elétrico em 2, 5 vezes.

Na análise do TCO, custo de propriedade do ônibus elétrico, o ponto de equilíbrio destaca-se em 10 anos e com uma poupança de 81.000 dólares a cada ano, com despesas evitadas de 25.000 dólares em combustível e de 55.000 dólares em saúde.

Nessa abordagem os custos operacionais levaram em conta os custos do combustível, do aditivo e da energia consumida pelas recargas das baterias.

5.3 No contexto do Brasil – São Paulo-SP

Um terceiro estudo de caso comparando as atuais tecnologias de ônibus foi estudado por Dalmann (2019) no município de São Paulo-SP.

Nessa pesquisa, analisaram-se os principais custos de implantação dos ônibus elétricos, conforme tabela 20. A partir desses dados foi possível, na comparação das tecnologias diesel e elétrica, projetar perspectivas favoráveis a viabilização da implantação do ônibus elétrico a bateria.

Tabela 20 - Componentes de custo total de propriedade - TCO

Categoria	Componente	Definição
Aquisição do ônibus e da infraestrutura	Entrada	Pagamento inicial para a compra do ônibus ou da infraestrutura. Considera-se que o valor remanescente é financiado.
	Financiamento	Pagamento de amortização e de juros por determinado período.
	Valor da revenda	Se o tempo de operação planejado for menor que a vida útil do ônibus, esse fluxo de caixa positivo considera o valor da revenda do veículo depreciado.
Operação e manutenção	Abastecimento	Custo anual para abastecer o veículo, determinado pela eficiência do combustível, pela distância percorrida e pelo custo do combustível
	Outros custos operacionais	Inclui o custo do ARLA 32 para ônibus a diesel e híbridos diesel-elétricos com sistema de redução catalítica seletiva.
	Manutenção do ônibus	Custo de manutenção regular do ônibus. Inclui pneus, peças, lubrificantes etc. Não inclui custos com pessoal.
	Manutenção da infraestrutura	Custo de manutenção da infraestrutura e operações, quando não incluído no preço de varejo do combustível.
	Revisão	Para aquisições de ônibus que não incluem uma garantia vitalícia, uma revisão geral na metade da vida útil inclui o custo de substituição da bateria, para ônibus elétricos, e uma revisão do motor para outros ônibus. Para esta análise, assumimos que a garantia da bateria cobre toda a vida útil do veículo.

Fonte: (DALMANN, 2019).

A tabela 20 mostra todos os custos relativos a composição do TCO, que contemplam os custos de aquisição, manutenção e de operação, tal como no modelo de implantação de Istambul, na Turquia e da Califórnia, nos EUA.

Tabela 21 - Valores estimados dos componentes do TCO de um ônibus padron.⁴

	Diesel P-7	Diesel Euro VI	Híbrido Euro VI	GNC Euro VI	Biodiesel Euro VI (B100)	Etanol Euro VI	Elétrico a Bateria ^(a)
Aquisição do ônibus (R\$/ônibus)	546.073	556.995	819.110	611.602	556.995	737.199	955.628
Aquisição da infraestrutura (R\$/ônibus)	0	0	0	110.000	0	0	161.000
Operação (R\$/km)	1,85	1,75	1,40	1,18	1,93	2,18	0,83
Manutenção (R\$/km)	0,77	0,77	0,66	1,08	0,88	1,08	0,58

Fonte: (DALMANN, 2019).

(a) Assume-se que o ônibus elétrico a bateria seja recarregada em um terminal durante a noite. Para informações sobre estimativas de custo para outros tipos de ônibus elétricos a bateria/outras estratégias de recarga (por exemplo, recarga em rota) ver Slowik, Araujo, Dalmann, & Façanha (2018).

A Tabela 21 sintetiza os valores estimados para os principais componentes de custo usados na análise. Outras premissas incluem, segundo Dalmann (2019, p.33):

»» a vida útil de todas as tecnologias de ônibus é de 10 anos;

»» a atividade anual é de 71.000 km/ano;

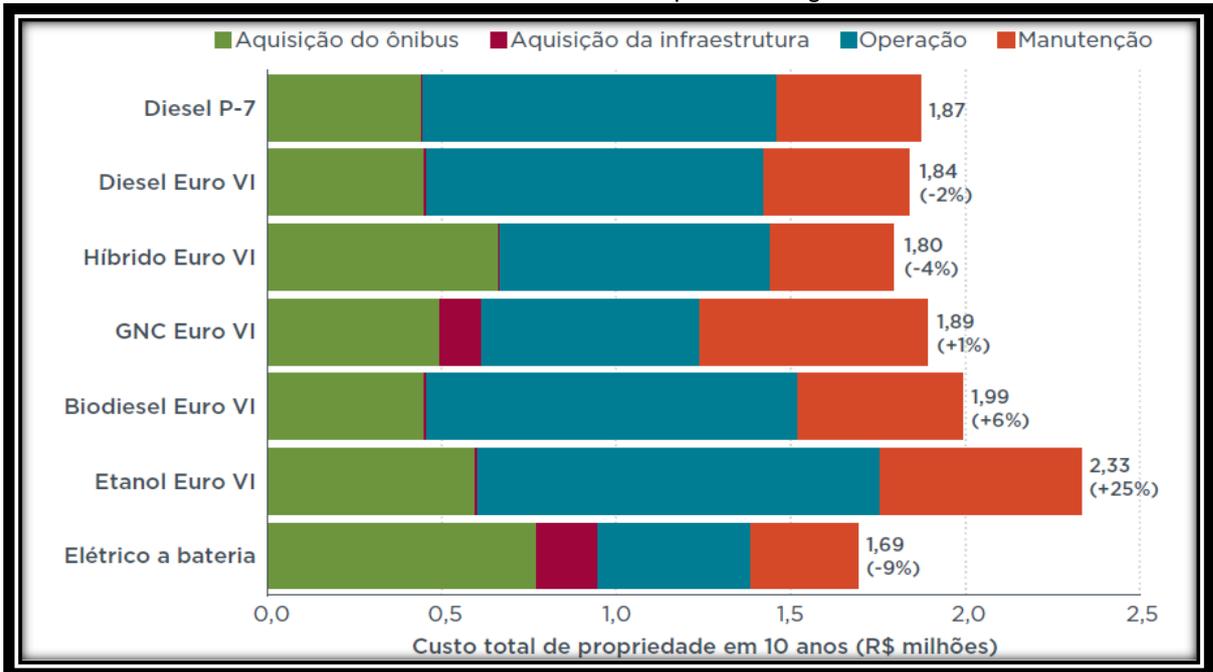
»» custos em anos futuros são descontados em 7%;

»» o financiamento para as despesas de capital para a aquisição de ônibus e infraestrutura consiste em uma entrada de 50%, sendo o restante coberto por um empréstimo com prazo de cinco anos e taxa de juros real de 7,6%;

»» a depreciação é de 8% ao ano para todos os tipos de ônibus. O valor do veículo depreciado no final do seu prazo de propriedade é tratado como um fluxo de caixa positivo.

⁴ Os dados e as premissas assumidas para calcular essas estimativas encontram-se no apêndice, (DALMANN, 2019).

Gráfico 27 - Estimativas de TCO por tecnologia - 10 anos



Fonte:(DALMANN, 2019).

O gráfico 27 aponta as estimativas do custo total de propriedade (TCO), em um período de 10 anos, para ônibus tipo Padron LE convencional no município de São Paulo.

Os rótulos dos dados indicam a participação de cada componente de custo para as estimativas. As porcentagens mostram a variação no custo total de propriedade em relação a tecnologia diesel P-7 da frota de referência. Segundo Dalmann (2019, p.33), “os custos de aquisição incluem a entrada e as prestações do financiamento menos o valor da revenda do ônibus ao término do período de propriedade.”

O gráfico 27, aponta ainda que nesta avaliação, o TCO de um ônibus convencional padron a diesel P-7, euro V, é estimado em R\$ 1,87 milhão. Os custos operacionais representam mais da metade dos custos totais ao longo da vida útil do ônibus a diesel, com o restante dividido de forma mais ou menos igual entre a aquisição do ônibus e a manutenção regular. A composição do custo do ônibus a diesel Euro VI é semelhante, embora, neste caso, o preço de compra ligeiramente maior que o ônibus diesel P-7 seja compensado por despesas operacionais menores, o que resulta em um TCO um pouco menor (R\$ 1,84 milhão).

Esses resultados mostram que os ônibus elétricos a bateria competem com os ônibus diesel, tanto o Euro V como o Euro VI, da frota de referência em termos de TCO, com custos estimados para o ciclo da vida de 9% menores que os ônibus a

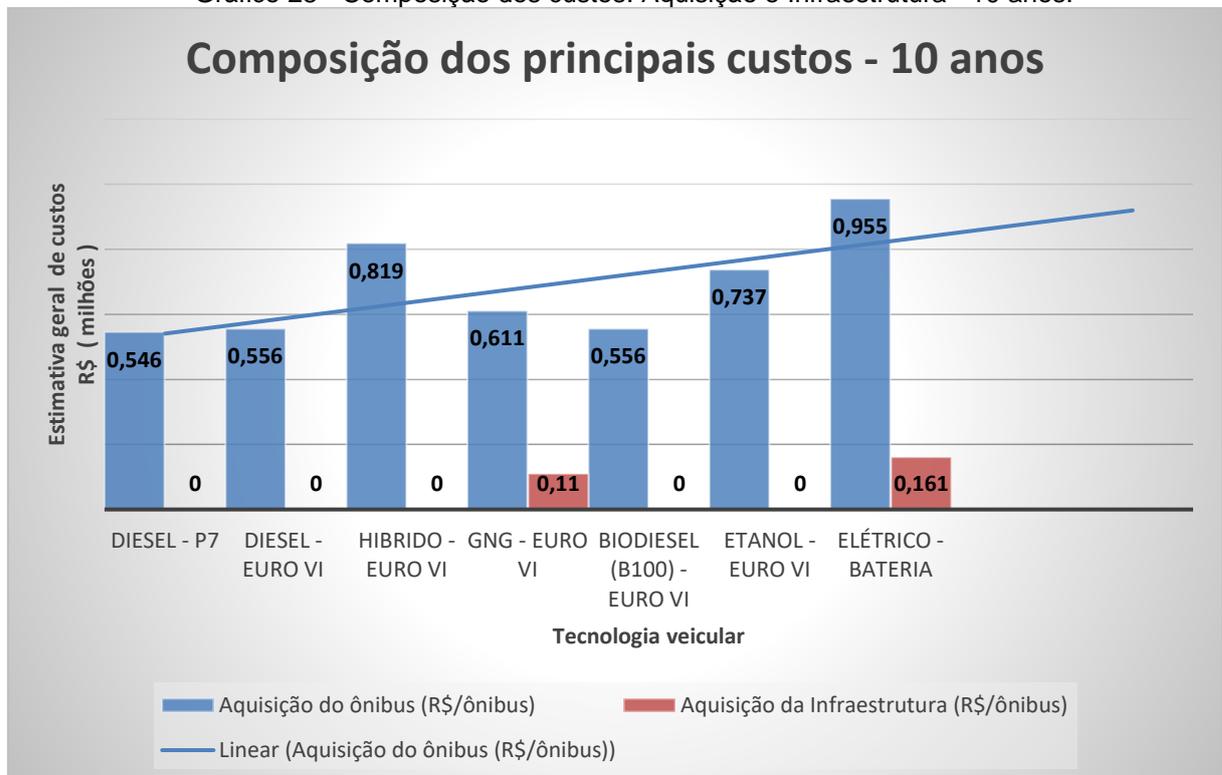
diesel P-7. De fato, os ônibus elétricos a bateria têm o menor TCO de todas as tecnologias consideradas nessa análise.

Apesar dos custos relativamente maiores de aquisição do veículo e da infraestrutura para essa tecnologia, os custos reduzidos de manutenção e operação geram economia ao longo da vida útil em comparação com os ônibus convencionais a diesel. A principal economia decorre das despesas com o abastecimento, equivalente a cerca da metade do que é gasto com o diesel.

Na questão dos custos:

Assim, especialmente no caso dos ônibus elétricos a bateria, as práticas tradicionais de aquisição, que privilegiam as opções mais baratas de tecnologia de ônibus, podem desfavorecer as tecnologias que tem um preço de compra mais alto, mas custos operacionais reduzidos de forma substancial e custos líquidos potencialmente menores ao longo da vida útil. Mudanças nessas práticas de aquisição e modelos inovadores de financiamento, que considerem a economia operacional ao longo da vida útil das tecnologias alternativas de ônibus, podem ser necessárias para acelerar a aceitação dessa opção tecnológica. (DALMANN, 2019, p.35).

Gráfico 28 - Composição dos custos: Aquisição e Infraestrutura - 10 anos.

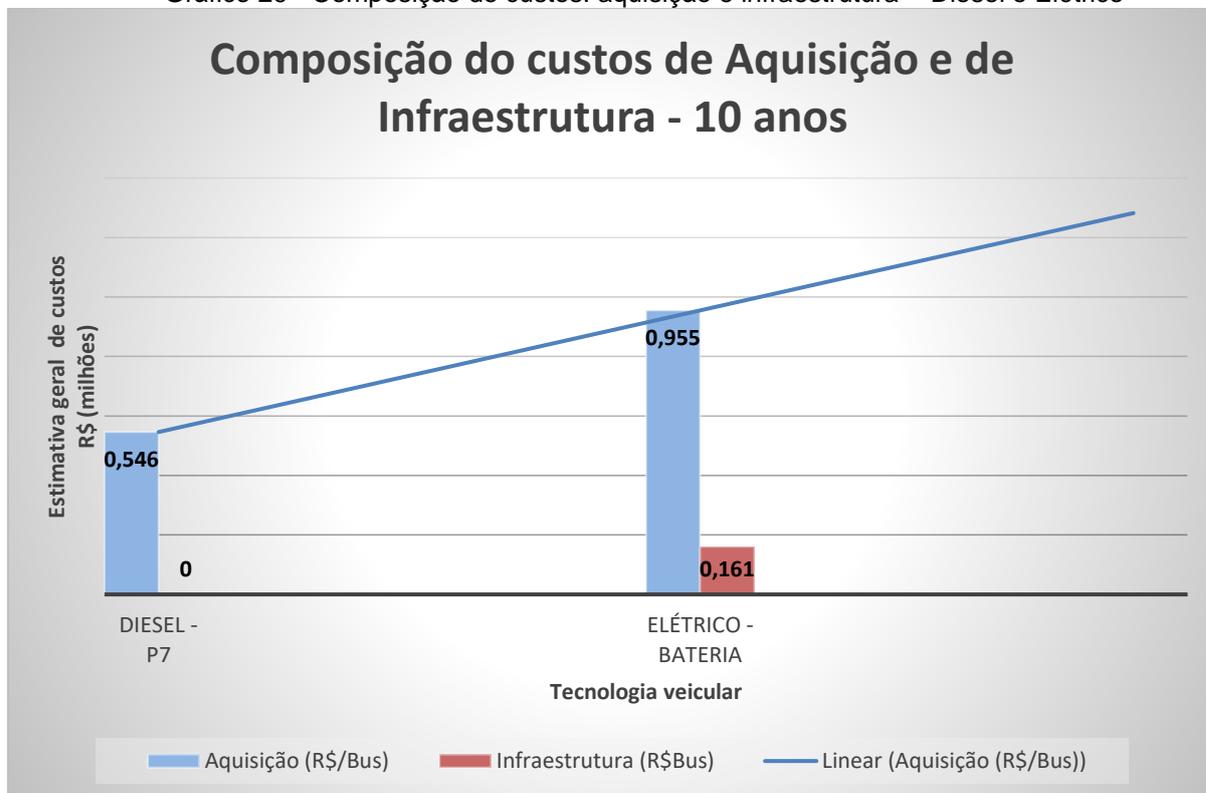


Elaborado pelo autor, com dados da Fonte: (DALMANN, 2019).

Nos itens aquisição dos ônibus e de infraestrutura, conforme apontado no gráfico 28, tem-se que: para o elétrico, na questão do custo de aquisição, cerca de 2,0

vezes maior em relação ao diesel. Na questão da infraestrutura esse custo é único para o elétrico e de R\$ 161.000 mil.

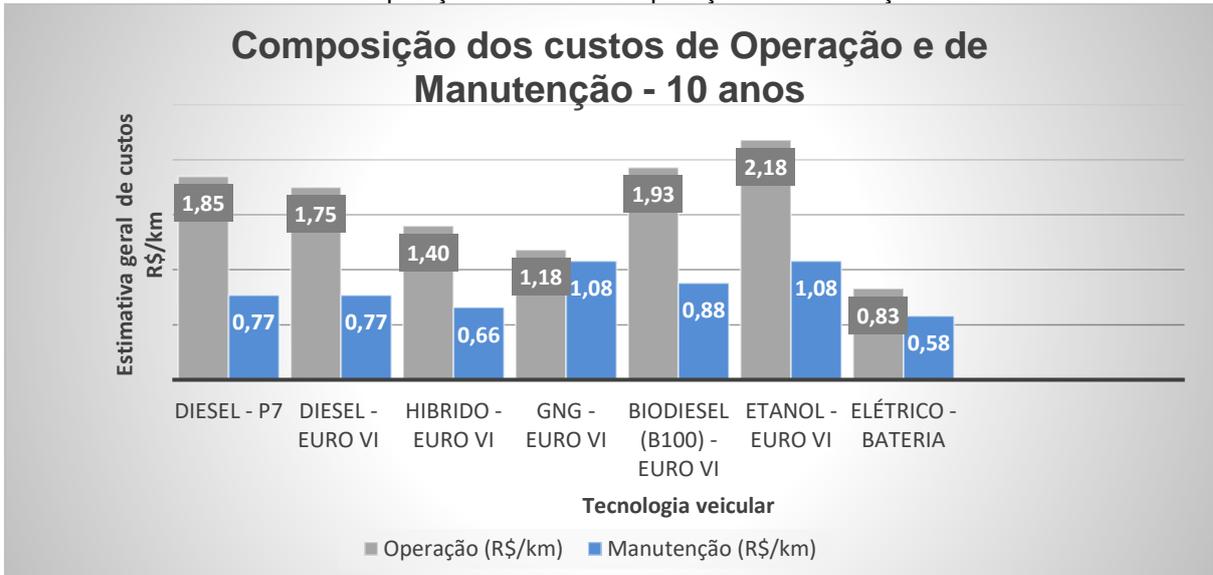
Gráfico 29 - Composição de custos: aquisição e infraestrutura - Diesel e Elétrico



Elaborado pelo autor, com dados da Fonte: (DALMANN, 2019).

Conforme gráfico 29, no comparativo diesel e elétrico, tem-se que, conforme o modelo de Istambul e da Califórnia, um custo de aquisição para o elétrico de cerca de 1,8 vezes maior, levando-se em conta a estimativa de um custo de aquisição futura menor que os praticados atualmente e conforme a referência daqueles Estados.

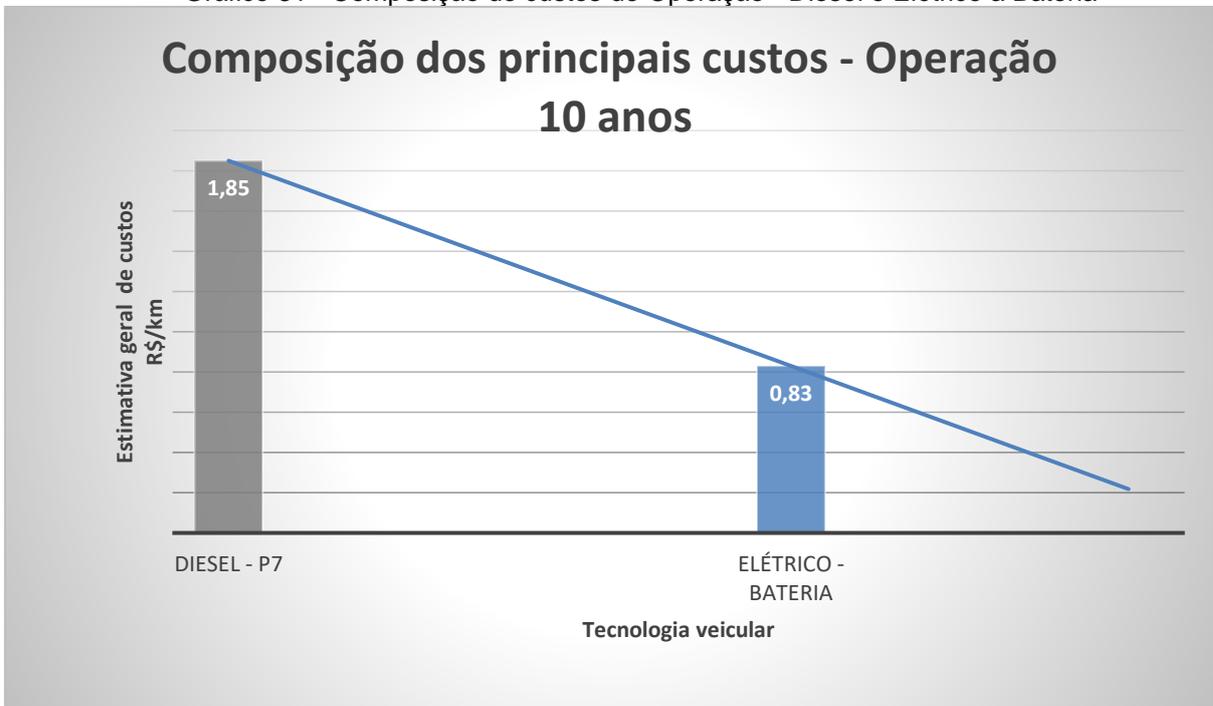
Gráfico 30 - Composição dos custos: Operação e Manutenção - 10 anos



Elaborado pelo autor, com dados da Fonte: (DALMANN, 2019).

Nos itens operação e manutenção, conforme apontado no gráfico 30, tem-se que: para o elétrico, na questão do custo operacional, 2,2 vezes menor em relação ao diesel. Na questão da manutenção esse custo é de 1,3 vezes menor, também, para o elétrico.

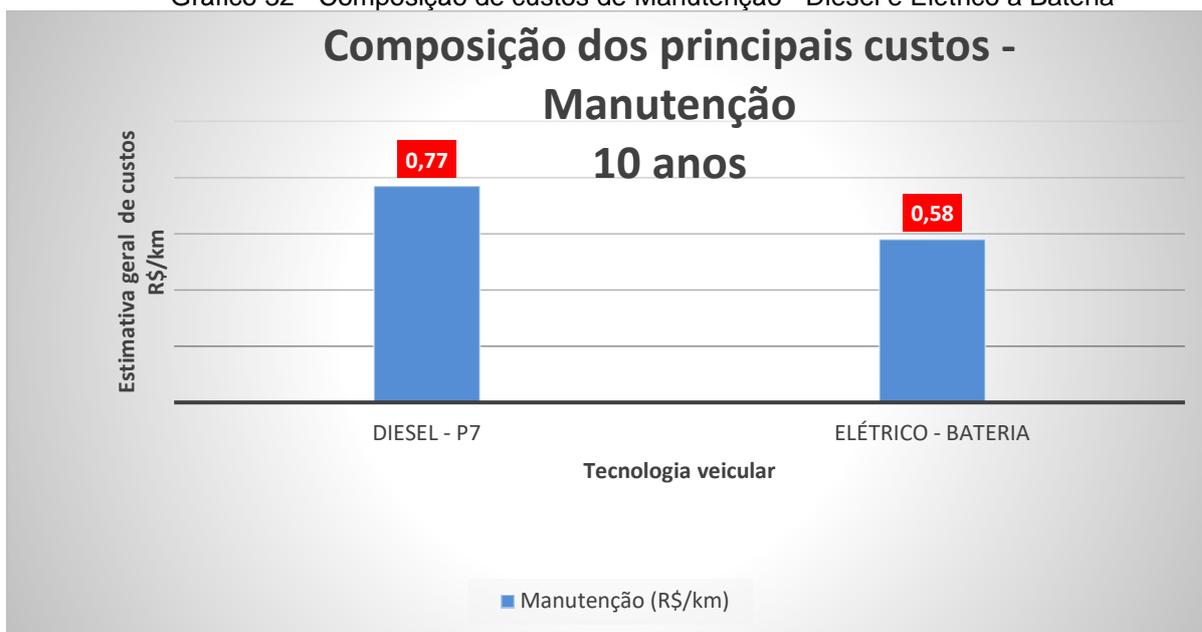
Gráfico 31 - Composição de custos de Operação - Diesel e Elétrico a Bateria



Elaborado pelo autor, com dados da Fonte: (DALMANN, 2019).

No item operação, conforme apontado no gráfico 31, temos que: para o elétrico, na questão do custo operacional, 2,2 vezes menor em relação ao diesel.

Gráfico 32 - Composição de custos de Manutenção - Diesel e Elétrico a Bateria



Elaborado pelo autor, com dados da Fonte: (DALMANN, 2019).

A questão da manutenção, conforme gráfico 32, esse custo é de 1,3 vezes menor, também, para o elétrico.

A Greenpeace realizou testes no município de São Paulo, conforme tabela 24 e apresentou os benefícios de uma frota movida a combustíveis renováveis:

O dossiê do Greenpeace (2016) apresentou os benefícios de uma frota de ônibus movidas a combustíveis renováveis em São Paulo. O dossiê comparou um ônibus convencional com os ônibus com tecnologia alternativa (híbridos e elétricos). O ônibus convencional considerado foi o movido a óleo diesel, piso baixo, com equipamento de ar condicionado e comprimento entre 12,5 m e 13,2 m. O rendimento energético de 0,9 km/kWh do ônibus elétrico considerado foi o do BYD K9, em testes na Bahia. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.12).

Tabela 22 - Custos para diferentes tecnologias – Estudos do Greenpeace

Custo	Ônibus convencional	Híbrido (Eletra)	Híbrido (Volvo)	Elétrico (Eletra)	Elétrico (BYD K9)
Investimento inicial [R\$]	R\$ 460.000,00	R\$ 640.000,00	R\$ 800.000,00	R\$ 850.000,00	R\$1.000.000,00
Custo com energia ou combustível/km	R\$ 1,56	R\$ 1,18	R\$ 1,52	R\$ 0,48	R\$ 0,48
Custo com manutenção/km	R\$ 0,30	R\$ 0,29	R\$ 0,31	R\$ 0,92	R\$ 0,20
Custo global (10 anos)	R\$ 1.819.677,62	R\$ 1.712.173,85	R\$ 2.200.467,95	R\$ 1.922.841,85	R\$ 1.539.321,40
Diferença	-	-5,9%	+20,9%	+5,6%	-15,4%
Custo global (15 anos)	R\$ 2.491.393,70	R\$ 2.278.697,68	R\$ 2.892.335,51	R\$ 2.736.924,27	R\$ 1.788.982,10
Diferença	-	-8,5%	+16%	+9,8%	-28,1%

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

No que se refere ao município de São Paulo, foram realizados estudos e testes pela SPTrans em 2016, objetivando verificar a autonomia do ônibus elétrico a bateria (plug-in), conforme apresentados na tabela 22:

O estudo da SPTrans (2016) realizou testes de autonomia do ônibus elétrico a bateria (plug-in) fabricado pela BYD para aplicação no transporte coletivo de São Paulo. O ônibus testado foi um K9D de 12 m alimentado por baterias lítio-fosfato de ferro. Em testes preliminares, em um curto período de tempo, foram medidos os consumos de energia com carga plena e meia carga. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.12).

Tabela 23 - Autonomia dos ônibus elétricos a bateria – estudos da SPTrans

Indicadores	Quilometragem total percorrida [km]	Consumo de energia [kWh/km]
Linha 509M/10 Carga Plena	579	1,18
Linha 509M/10 Meia Carga	502	1,07
Expresso Tiradentes Carga Plena	462	0,93

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

Demais testes foram viabilizados e apontados na tabela 23, pelas empresas Ambiental Transportes Urbanos, mencionada no estudo da Carris em 2016 e Viação Gato Preto, ambas sediadas em São Paulo/SP:

Durante os 3 meses de testes da Ambiental, o ônibus rodou por duas linhas e houve 47 registros de manutenção, mas sem recolhidas ou transbordos. Os dados do ônibus elétrico a bateria (plug-in) fabricado pela BYD foram comparados com os dados dos trólebus que trafegam pelas mesmas linhas. O consumo do ônibus elétrico a bateria (plug-in) fabricado pela BYD foi de 1,26 kWh/km e dos trólebus foi de 2,29 kWh/km. Durante os 4 meses de testes da Gato Preto, o ônibus rodou apenas por uma linha onde trafegam ônibus Padron movidos a óleo diesel. Houve 6 ocorrências de manutenção e somente um defeito resultou em uma recolhida anormal. O consumo médio foi de 1,04 kWh/km. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.13).

Tabela 24 - Testes da Ambiental e da Gato Preto em São Paulo - SP

Empresa	Linha	Quilômetros rodados [km]	Passageiros Transportados [pass]	IPK [pass/km]	Consumo de energia [kWh/km]
Ambiental	3160-10	5.867	12.759	2,17	1,259
Ambiental	2002-10	2.102	4.500	2,14	1,266
Gato Preto	8000-10	10.688,6	33.846	3,17	1,040
	Total	18.657,6	51.105	2,74	1,118

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

Os testes da empresa Ambiental, tabela 24, seguiram os padrões, conforme D'agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.11), “em 24 dias de operação para teste da empresa Ambiental, a quilometragem total rodada no período foi de 2.389 km com um total de 4.453 passageiros transportados. A autonomia média diária da bateria no período foi 97,79 km.

Aponta-se ainda estudos realizados pela ABVE, conforme tabelas 25 e 26 a seguir e, que segundo D'agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.13), “a ABVE comparou o custo por quilometro de tecnologias utilizadas em ônibus urbanos (movidos a óleo diesel, híbridos, elétricos a bateria (plug-in) e trólebus).”

Tabela 25 - Consumo de energia ou combustível por km por tecnologia - ABVE

Veículo	Consumo de energia ou combustível [l/km ou kWh/km]
Diesel	0,63 l/km
Híbrido	0,48 l/km
Elétrico	1,58 kWh/km
Trólebus	2,63 kWh/km

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

Tabela 26 - Custos por tecnologia em R\$/km - ABVE

Veículo	Diesel	Híbrido (VOLVO)	Híbrido (ELETRA)	Elétrico (ELETRA)	Elétrico (BYD)	Trólebus
Custo de capital/km	1,33	1,73	1,91	2,21	1,25	1,41
Custo com energia ou combustível/km	1,68	1,17	1,17	0,79	0,79	1,32
Custo de manutenção/km	0,40	0,50	0,40	0,20	0,20	0,28
Custo das estações de carregamento/km	-	-	-	0,16	0,00	0,00
Custo de infraestrutura/km	-	-	-	0,14	0,14	0,34
Custo ambiental/km	0,40	0,29	0,29	0,03	0,03	0,05
Custo total/km	3,81	4,04	4,13	4,79	3,62	3,72

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

Na questão do processo licitatório, nesse município, focado na lei ambiental 16.802/2018, que estabelece as estimativas de redução da poluição, desencadeada pela frota a diesel dos ônibus:

Depois de quatro anos de atraso, a Prefeitura de São Paulo divulgou nesta terça-feira (24/4) a versão final dos editais da licitação que regulará o futuro sistema de transporte coletivo municipal. O destaque mais importante do conjunto de documento liberado pela Secretaria de Transportes são os cronogramas anuais com as metas de corte de poluentes que serão exigidas pelos concessionários ao longo de 20 anos.(ABVE, 2018, on-line).

Segundo a ABVE (2018, on-line), “os editais publicados foram precedidos pelo Decreto 58.200, divulgado no Diário Oficial de São Paulo, que fixou em 20 anos o prazo dos futuros contratos com as empresas de ônibus e a Prefeitura.”

Esse Decreto estabelece no Inciso IX do Artigo 15, que dispõe sobre as características do serviço de transporte público, diz que a licitação deverá contemplar:

- Metas anuais de redução da emissão de material particulado, gases tóxicos e de efeito estufa pela frota designada para a prestação dos serviços de transporte, de acordo com a legislação vigente.

Como novidades e segundo a ABVE (2018, on-line), as Principais características do novo sistema de transporte, segundo os editais:

- Novo critério de remuneração dos operadores, levando em conta também satisfação dos usuários e metas ambientais, critérios de desempenho, segurança e pontualidade;
- Wi-fi e tomada USB nos veículos;

- Ar condicionado;
- Divisão do sistema em três áreas (antes, eram só duas): estrutural, regional e local;
- Tecnologia embarcada para controle dos indicadores de segurança e pontualidade em cada ônibus;
- Limite de velocidade de 50 km/h;
- Cada frota terá de apresentar seu programa de redução de poluentes até quatro meses depois da assinatura do contrato;
- A transição tecnológica da frota será controlada por um Comitê Gestor;
- Esse comitê terá a participação de secretarias da Prefeitura e de representantes das empresas e sindicatos (esse item ainda não está regulamentado na lei ambiental);
- Redução da frota de 14.400 para 13 mil ônibus, mas com aumento da oferta de linhas e assentos;
- Esse aumento será possível com a racionalização gradativa de algumas linhas.

A seguir, as tabelas de corte de emissões de poluentes dos ônibus dos sistemas Estrutural, Regional e Local, que segundo a ABVE (2018, on-line), “os cronogramas fixam as metas que devem ser seguidas por cada empresa ou frota para corte de suas emissões de gás carbônico (CO₂), óxidos de nitrogênio (Nox) e material particulado (MP) ao longo dos 20 anos dos contratos.”

Tabela 27 - Corte de emissões: ônibus do Sistema Estrutural

Ano	MP	NOx	CO2
0	0,0%	0,0%	0,0%
1	24,8%	20,5%	13,6%
2	33,9%	27,5%	15,3%
3	39,1%	32,1%	18,0%
4	61,7%	53,2%	31,7%
5	78,8%	68,3%	38,1%
6	82,6%	73,2%	44,9%
7	85,3%	77,9%	47,7%
8	87,6%	84,3%	48,7%
9	90,3%	89,7%	50,4%
10	90,8%	90,2%	55,3%
11	91,3%	90,7%	60,3%
12	91,7%	91,3%	65,3%
13	92,2%	91,8%	70,2%
14	92,7%	92,3%	75,2%
15	93,1%	92,9%	80,1%
16	93,6%	93,4%	85,1%
17	94,1%	93,9%	90,1%
18	94,5%	94,5%	95,0%
19	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: (ABVE, 2018, on-line).

A tabela 27 mostra os índices de corte de emissões do Sistema Estrutural, que contemplam os ônibus maiores que passam pela região central.

No primeiro ano do contrato o corte para o MP será de 24,8 %, de NOx 20,5% e de CO2 será de 13,6%.

No quinto ano do contrato o corte para o MP será de 78,8 %, de NOx 68,3% e de CO2 será de 38,1 %.

No décimo ano do contrato o corte para o MP será de 90,8 %, de NOx 90,2% e de CO2 será de 55,3 %.

No décimo quinto ano do contrato o corte para o MP será de 93,1 %, de NOx 92,9% e de CO2 será de 80,1 %.

Tabela 28 - Corte de emissões: Sistema de Articulação Regional de São Paulo

Ano	MP	NOx	CO2
0	0,0%	0,0%	0,0%
1	24,8%	20,5%	13,6%
2	33,9%	27,5%	15,3%
3	39,1%	32,1%	18,0%
4	61,7%	53,2%	31,7%
5	78,8%	68,3%	38,1%
6	82,6%	73,2%	44,9%
7	85,3%	77,9%	47,7%
8	87,6%	84,3%	48,7%
9	90,3%	89,7%	50,4%
10	90,8%	90,2%	55,3%
11	91,3%	90,7%	60,3%
12	91,7%	91,3%	65,3%
13	92,2%	91,8%	70,2%
14	92,7%	92,3%	75,2%
15	93,1%	92,9%	80,1%
16	93,6%	93,4%	85,1%
17	94,1%	93,9%	90,1%
18	94,5%	94,5%	95,0%
19	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: (ABVE, 2018, on-line).

Na tabela 28 são contemplados os cortes de emissões, em relação aos ônibus básicos e padrons que ligam bairros menores aos bairros mais movimentados chamados de centralidades regionais.

No primeiro ano do contrato o corte para o MP será de 24,8 %, de NOx 20,5% e de CO2 será de 13,6%.

No quinto ano do contrato o corte para o MP será de 78,8 %, de NOx 68,3% e de CO2 será de 38,1 %.

No décimo ano do contrato o corte para o MP será de 90,8 %, de NOx 90,2% e de CO2 será de 55,3 %.

No décimo quinto ano do contrato o corte para o MP será de 93,1 %, de NOx 92,9% e de CO2 será de 80,1 %.

Tabela 29 - Corte de emissões: sistema Local

Ano	MP	NOx	CO2
0	0,0%	0,0%	0,0%
1	26,3%	17,4%	1,2%
2	39,9%	26,3%	1,2%
3	62,9%	46,6%	1,2%
4	67,0%	49,5%	1,2%
5	71,6%	57,2%	10,4%
6	76,0%	64,4%	19,6%
7	81,6%	73,5%	32,2%
8	86,4%	82,5%	41,9%
9	90,7%	93,0%	50,4%
10	91,1%	93,2%	55,3%
11	91,5%	93,4%	60,3%
12	92,0%	93,6%	65,3%
13	92,4%	93,8%	70,2%
14	92,8%	94,0%	75,2%
15	93,3%	94,2%	80,1%
16	93,7%	94,4%	85,1%
17	94,1%	94,6%	90,1%
18	94,6%	94,8%	95,0%
19	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: (ABVE, 2018, on-line).

No sistema Local, conforme tabela 29, o corte de emissões, irá contemplar os ônibus menores que ligam os bairros até corredores e terminais de ônibus e estações de trens da CPTM e do Metrô.

No primeiro ano do contrato o corte para o MP será de 26,3 %, de NOx 17,4% e de CO2 será de 1,2%.

No quinto ano do contrato o corte para o MP será de 71,6 %, de NOx 57,2% e de CO2 será de 10,4 %.

No décimo ano do contrato o corte para o MP será de 91,1 %, de NOx 93,2% e de CO2 será de 55,3 %.

No décimo quinto ano do contrato o corte para o MP será de 93,3 %, de NOx 94,2% e de CO2 será de 80,1 %.

Constatou-se, nas tabelas 27 a 29 anteriormente, que as porcentagens de corte nas emissões se acentuam entre o quinto e décimos anos, possibilitando que se atinja os 100% em 20 anos e uma porcentagem maior nas reduções para o MP.

5.3.1 Resultados e discussões do modelo de São Paulo-SP

Segundo informações divulgadas por Autoindústria (2019, on-line), a Prefeitura de São Paulo apresentou no dia 19/11/2019 sua primeira frota de 15 ônibus 100% elétricos da BYD para operação no sistema de transporte público do município, a cargo da concessionária Transwolff, que passaram a circular na linha 6030/10 Unisa-Campus1/Terminal Santo Amaro (figura 26).

Figura 26 - Ônibus elétrico a bateria BYD D9W no município de São Paulo



Fonte: (AUTOINDÚSTRIA, 2019, on-line).

Os veículos modelo BYD D9W tem dois motores elétricos de 150 KW integrados nas rodas do eixo traseiro que geram o equivalente a 402 cv, e sistema regenerativo de energia; precisam de três a quatro horas para recarregamento total das baterias, e possuem 250 quilômetros de autonomia, suficiente para que rodem o dia todo. O projeto implantado inclui, além dos 15 ônibus, o aluguel das baterias, postos de recarga instalados na garagem, e o fornecimento da energia elétrica, que é produzida em uma fazenda de células fotovoltaicas da BYD em Araçatuba-SP. (AUTOINDÚSTRIA, 2019, on-line).

Na questão das análises do município de São Paulo, nos estudos da fonte de pesquisa Dalmann (2019) da ICCT, tem-se que:

No custo total de propriedade (TCO), em um período de 10 anos, temos que ocorre uma vantagem de 9% a menos nos custos de ônibus da tecnologia elétrica;

Nos custos relativos a aquisição e a infraestrutura, em uma operação de 10 anos, para o elétrico esse custo é de cerca de 2 vezes maior.

Quanto à operação e a manutenção dessas duas tecnologias, no mesmo período, aponta-se uma vantagem 2,2 vezes maior para a tecnologia elétrica;

No quesito aquisição e de infraestrutura, ocorre uma desvantagem de um custo 1,8 vezes maior para a tecnologia elétrica;

Na pesquisa de D'agosto, Gonçalves, Almeida (2017), tem-se que as abordagens estatísticas da Greenpeace apontaram que:

No custo global (Custo Total de Propriedade – TCO) de 10 anos os ônibus elétricos da BYD apontaram uma economia de -15,4 % para o elétrico em comparação ao diesel;

No período de 15 anos essa economia resultou uma diferença de -28,9% quando comparada ao diesel.

Na abordagem da ABVE, destaca-se para os custos totais por quilometro (R\$/km) para o diesel de R\$ 3,81 e para o elétrico da BYD, R\$ 3,72;

Na questão operacional, conforme a Califórnia, abordaram-se somente os custos do abastecimento de combustível, diesel ou energia, e do aditivo para o diesel (Arla 32).

5.4 No contexto do Brasil - Campinas-SP

O quarto caso em destaque nesta pesquisa é o município de Campinas-SP, citado por Moraes (2017, p.43), como “pioneiro no Brasil a inserir a primeira frota de 12 ônibus elétricos a bateria, sendo os 11 primeiros do modelo K9A, ainda importados, e um novo K9W já fabricado no Brasil, pela BYD” (Figura 27).

Figura 27 - Ônibus Elétrico a bateria no município de Campinas– modelo K9W – BYD



Fonte: (MORAES, 2017, on-line).

Com 1,2 milhão de habitantes, 14ª cidade mais populosa do país, o município transporta cerca de 600 mil passageiros por dia útil, e possui atualmente 13 ônibus elétricos de uma frota de 1100 ônibus em circulação. O processo licitatório para transporte público em curso (em 2019), que oferecerá uma concessão de 15 anos prorrogáveis por mais 5 à empresa ou consórcio vencedor, prevê a redução da frota total para 800 veículos e um período de transição de 2 anos para que metade desta nova frota seja formada por ônibus elétricos a bateria, que irão circular em uma região denominada de “área branca”, reservada exclusivamente para trânsito dos ônibus com energia renovável, e nos corredores BRT (Bus Rapid Transit - Transporte Rápido por Ônibus) da cidade, previstos para 2020 (EMDEC, 2019, on-line).

Tabela 30 - Características técnicas do ônibus padron modelo D9W (CAIO/BYD)

Veículo	Especificação
Característica construtiva	Piso baixo
Comprimento total	12,94 m – Piso baixo
Largura	2,50 m
Altura	3,40 m
Distância entre eixos	6,35 m
Peso do veículo	13,625 kg
Peso bruto total	19,150 kg
Sistema de controle de tração	Inversores de frequência variável
Posição do sistema de tração	Traseira
Motores de tração	Síncronos com ímã permanente
Potência máxima dos motores	300 kW (2 x 150 kW)
Baterias tracionarias	324 kW/h
Autonomia	250 km
Consumo médio	1,5 kWh/km
Freio	Disco/ABS
Direção	Hidráulica
Suspensão dianteira/traseira	Pneumática
Acessibilidade	Rampa de acesso
Portas	5 (3 LD + 2 LE)
Área reservada para cadeirante	Sim
Passageiros sentados	25 + 1
Passageiros em pé	57
Total de passageiros	83
Recursos de mídia	WI FI
Portas digitais	USB
Acionamento do ar condicionado	Elétrico

Elaborado pelo autor com dados da fonte: (BYD, 2019, on-line).

Nos dados da tabela 30 ressalta-se o valor baixo de consumo médio desse tipo de tecnologia, que é de 1,5 kWh/km.

Na questão do processo licitatório, Marques (2018a) destaca no edital de concorrência, disponibilizado em 29 de agosto de 2019 no Diário Oficial do Município as seguintes informações:

EDITAL DA CONCORRÊNCIA Nº 09/2019 PROCESSO ADMINISTRATIVO Nº: 2019/10/13.606 INTERESSADO: Secretaria Municipal de Transportes OBJETO: Delegação, por concessão, da prestação e exploração do Serviço de Transporte Coletivo Público de Passageiros, na Cidade de Campinas, dividida em 6 (seis) Áreas Operacionais Preferenciais, com a finalidade de atender às necessidades atuais e futuras de deslocamento da população, envolvendo operação regular do serviço de transporte coletivo público na Modalidade Convencional; operação regular do serviço de transporte coletivo público na Modalidade Seletivo e/ou sob demanda; operação regular do serviço do Programa de Acessibilidade Inclusiva (PAI); Operação dos futuros corredores (BRT), incluídos na respectiva área de operação. (CAMPINAS, 2019a, p.1).

Segundo dados do site da Prefeitura constatou-se os detalhes dos ônibus a serem operados no município:

O município será dividido em seis áreas operacionais, proporcionando mais equilíbrio e distribuindo melhor as linhas do transporte público. Também será criada uma sétima área na região central, chamada de “Área Branca”, que terá somente a circulação de veículos do transporte coletivo movidos por energia limpa (ônibus elétricos a bateria ou híbridos). A “Área Branca” terá, aproximadamente, 3 km² e perímetro de 7 km. (CAMPINAS, 2019b, on-line).

Os anexos ao edital informam o prazo da concessão, conforme consta no edital:
ANEXO I INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES 1, segundo Campinas (2019),

“PRAZO DE VIGÊNCIA 1.1. O prazo da concessão será de 15 (quinze) anos, a partir da assinatura do Termo de Contrato, podendo ser prorrogado por mais 05 (cinco) anos conforme Lei Municipal nº 12.329/2005.”

O item 6.3.3., referente aos dados técnicos dos veículos, segundo o edital, com destaque ao ônibus elétrico a bateria, destaca:

[...] o percentual do custo com Combustíveis dos veículos elétricos (kW/h e Óleos e Lubrificantes) sobre o Custo Total, será reajustado pela variação do período apurado no site da CPFL Energia, em Taxas e Tarifas. (CAMPINAS, 2019b, on-line).

Na questão da prioridade da tecnologia, com combustível de energia renovável, destacam-se, segundo dados técnicos contemplados no edital, no parágrafo 4.9 - Desenvolvimento de Novas Tecnologias, em acordo com questões legais:

A indústria do segmento dos veículos pesados poderá apresentar novas tecnologias ou dispositivos que visem o aprimoramento dos veículos M2 e M3 em termos de conforto, segurança, desempenho, durabilidade e minimização dos impactos ambientais. Tais tecnologias deverão apresentar supremacia em relação às atuais. Lei nº 8.723/93 e suas alterações, dispendo sobre a ratificação da Resolução CONAMA 08/93 (redução da emissão de poluentes por veículos automotores). (CAMPINAS, 2019a, on-line).

Destacam-se, ainda, demais tópicos relativos às questões técnicas abordadas nos manuais, em anexo ao processo licitatório, tais como:

- Na questão técnica do tipo de motor: Para os ônibus movidos à tração elétrica, serão atendidas especificações técnicas estabelecidas pelo poder concedente de transporte em documento específico.
- Idade máxima dos veículos:

As idades médias por tipo e classe de ônibus serão **7,5** (sete e meio) anos para os veículos do tipo articulado e **5** anos (cinco) para os demais, calculadas separadamente. Aqueles com propulsão elétrica terão idade máxima de **15** (quinze) anos sem renovação e sem impactarem na composição da idade média da frota.

- **Autonomia dos veículos:**

A autonomia dos veículos será de 350 km para óleo Diesel, considerando toda a capacidade de armazenamento do tanque de combustível, e 300 km para os demais, através de banco de baterias, cilindros de armazenagem de gás, ou tanques.

Nesse processo licitatório, no item: Manual de preenchimento da Proposta da Licitação do Transporte Público, 8.13. ABA – LEASING DE BATERIAS, aponta-se:

Nesta aba se encontram os cálculos que resultam no custo total de leasing das baterias dos ônibus elétricos. (2.5 no fluxo de caixa). Para se obter nos resultados desta aba, é necessário a frota de veículo elétrico (dado não digitável) e o valor da mensalidade do leasing para cada tipo de bateria: Padron e Articulado (dado digitável). No cálculo destes custos são utilizados os números que podem ser editados pelas empresas, portanto, o resultado final do fluxo de caixa será editado. (CAMPINAS, 2019^a, on-line).

Nessas orientações, de preenchimento da proposta, destacaram-se as informações relativas a forma de pagamento das baterias. O “leasing”, aluguel das baterias, é uma estratégia de pagamento para amenizar os custos na aquisição dos ônibus elétricos, considerando que essas baterias, ainda são importadas e apresentam um valor significativo, cerca de 40%, no custo da aquisição de veículos dessa tecnologia.

Na questão da especificidade de rota a ser percorrida, no que se refere a prioridade dos ônibus elétricos a bateria, destacou-se que:

Outra mudança foi que os ônibus serão divididos de forma diferente: vermelho (Norte), azul escuro (Noroeste), azul claro (Oeste), verde (Sudoeste), amarela (Sul), laranja (Leste) e branco. Atualmente, a configuração de cores inclui apenas verde, vermelho, azul claro e azul escuro. A chamada área branca vai se referir à região de circulação dos ônibus elétricos a bateria, por isso será necessária a alteração nas configurações de identificação dos veículos. (MARQUES, 2018a).

Em contato telefônico com a EMDEC, apurou-se que o processo de aquisição deveria ser concretizado para agosto de 2019.

Alguns dados operacionais, do município de Campinas, foram obtidos por pesquisa, conforme referido abaixo:

Em 18 dias de operação para teste da empresa Itajaí, a quilometragem total percorrida no período foi de 3.053 km com um total de 5.117 passageiros transportados. O consumo de energia no período foi de 3.262 kWh, com um custo de R\$ 1.941,00. Enquanto o custo de energia no mesmo período por um veículo equipado com motor do ciclo Diesel foi de R\$ 2.776,54. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.11).

Observa-se que o custo da energia no período foi 30 % inferior quando empregada a tecnologia elétrica a bateria, com relação ao diesel.

De acordo com as tecnologias utilizadas para estudo, aponta-se que:

O estudo da Carris (2016) analisou as tecnologias utilizadas em ônibus urbanos, comparando os ônibus movidos a óleo diesel com os ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD. Neste estudo, além das medidas de desempenho operacional, também foram considerados os custos. Dentro do escopo deste estudo, foram realizadas visitas a três operadoras que já utilizam ônibus elétrico (Metra em São Bernardo do Campo/SP, Ambiental em São Paulo/SP e Itajaí em Campinas/SP) e duas fábricas de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), no Brasil e na China. Durante essas visitas, foram obtidos os resultados do acompanhamento da operação dos ônibus elétricos. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.11).

Outros cálculos referentes ao custo do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) foram realizados pela Carris, conforme apontado na tabela 32, a seguir, e que:

Na visita na fábrica chinesa, foi informado que autonomia da bateria era de 240 a 280 km e a vida útil média era de 12 anos. O consumo energético do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) aumenta de 0,5 a 0,8 kWh, se for instalado aparelho de ar condicionado. O custo de manutenção preventiva do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) era aproximadamente 80% menor do que o custo do ônibus a óleo diesel. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p. 11).

Tabela 31 - Outros custos relacionados aos ônibus elétricos a bateria do município de Campinas-SP

	Diesel	Elétrico
Investimento inicial [R\$]	R\$ 530.000,00	R\$ 1.250.000,00
Custo com energia ou combustível [R\$/km]	R\$ 1,37	R\$ 0,58
Custo com manutenção [R\$/km]	R\$ 0,99	R\$ 0,40
Custo global (10 anos)	R\$ 2.969.761,25	R\$ 2.898.317,53
Diferença	-	-2,4%
Custo global (15 anos)	R\$ 5.852.484,74	R\$ 3.566.435,36
Diferença	-	-39,1%

Fonte: (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017).

Na tabela 31 nota-se que o custo global, equivalente ao TCO (Custo Total de Propriedade), no intervalo de 10 anos e quando se compara as duas tecnologias, foi de 2,4 % menor para a tecnologia elétrica, e no intervalo de 15 anos esse custo aponta uma diferença de vantagem para o elétrico de 39,1%.

Se forem considerados os dados relativos ao custo com energia ou combustível por km (R\$/km), segundo a tabela 31 acima, para um percurso diário de 250 Km, que é a autonomia da bateria, tem-se que:

- Para a tecnologia elétrico a bateria = R\$ 0,58 x 250 km = R\$ 145,00
- Para o diesel (nas mesmas condições) = R\$ 1,37 x 250 km = R\$ 342,50

Nesse contexto o custo para o elétrico será de 2,36 vezes menor ou 42 %. Essa diferença de R\$ 197,50 implica em valores monetários significativos, considerando esses percursos realizados em períodos de tempo maiores. Se for considerada essa estimativa em 10 anos, haverá uma economia de R\$ 197,50 (dia) x 30 dias x 12 (um ano) x 10 anos = R\$ 711.000,00 (setecentos e onze mil reais), sem considerar, ainda, os custos reduzidos em despesas de saúde, decorrentes da poluição dos ônibus a diesel. Ressalta-se, também o número de mortes evitadas e a redução dos agravamentos do GEE.

5.4.1 Resultados e discussões do modelo de Campinas-SP

Segundo relatório da CARRIS (2016) citado por D'agosto; Gonçalves; Almeida (2017), que analisou as tecnologias utilizadas em ônibus urbanos, comparando os ônibus movidos a diesel com os ônibus elétrico a bateria (plug-in) fabricado pela BYD, na questão dos custos da energia ou combustível de ambas tecnologias, apontou-se uma vantagem de 42 % para a tecnologia elétrica.

No período de 10 anos, considerando todos os custos (TCO), observou-se uma vantagem de 2,4 % para a tecnologia elétrico a bateria, enquanto que no período de 15 anos a diferença desse custo global atingiu 39,1 % de vantagem para a tecnologia elétrico a bateria.

Na questão operacional, assim como nos casos descritos da Califórnia e do município de São Paulo, foram abordadas somente os custos do abastecimento de combustível, diesel ou energia, e do aditivo para o diesel (ARLA 32).

Quanto aos demais aspectos favoráveis dessa tecnologia em relação ao diesel, notou-se, em visita in loco no terminal de ônibus do município, que não existe aquecimento, particularmente gerado pelo motor a combustão da tecnologia a diesel; não há necessidade de trocas de marchas, peculiar ao motor a diesel, que possui cambio, necessário para as mudanças de velocidade. Nesse detalhe, destaca-se que na tecnologia elétrica a bateria a mudança de velocidade é decorrente de circuito

eletrônico, denominado de inversor, que é responsável pela energia para o movimento dos motores elétricos. Esses motores são ligados, por meio de eixos, às rodas traseiras do veículo.

Na questão do torque, que é a força necessária nas subidas constatou-se um desempenho satisfatório, numa situação real do percurso.

Na questão da autonomia dessa tecnologia, constatou-se que: com a recarga das baterias, feita nas garagens e no período noturno, esses veículos rodam em média seis horas por dia, possibilitando o atendimento contínuo nos momentos de maior demanda de passageiros, contribuindo com isso para a redução efetiva dos índices de poluição, pois nesses momentos alguns ônibus a diesel deixam de circular.

Na questão das manutenções apontou-se que as paradas para essa finalidade são necessárias em função de medidas preventivas, e que ocorrem nos momentos de recarga das baterias. Ressaltou-se que as paradas por defeitos são raras, diferente da tecnologia a diesel, em que é necessária a verificação de vários itens: lubrificação, aditivos, correias, transmissão, caixa de câmbio, sistema de arrefecimento, troca de óleo, abastecimento e etc., e que as paradas por defeitos são bem maiores, em face da quantidade de itens relativos aos aspectos técnicos dessa tecnologia;

Observou-se, do ponto de vista do passageiro, a necessidade de melhorias na questão do amortecimento desses veículos.

Na questão das peculiaridades do processo licitatório, ressalta-se a opção pelo leasing de baterias, a exemplo do que já havia sido citado para o caso da Califórnia, e dos prazos mais longos e diferenciados para a substituição de veículos elétricos à bateria, que permitem amplificar o retorno dos investimentos, indo de encontro aos dados do dossiê da Greenpeace (2016) citado por D'agosto, Gonçalves, Almeida (2017).

6 ANÁLISE COMPARATIVA E PROPOSTAS

Para atendimento ao objetivo final, da elaboração do projeto de implantação da tecnologia elétrica, em município que não contemple essa tecnologia, foram considerados, à nível mundial, os resultados dos dados levantados de Istambul e da Califórnia, e no Brasil, os dados oriundos dos municípios de São Paulo e de Campinas, em que se consideraram as variáveis adotadas, possibilitando a conclusão da viabilidade dessa tecnologia, quanto ao atendimento das vantagens, levando-se em conta os médios e longos prazos, quando comparada às demais tecnologias, predominantes atualmente.

Em Campinas foram obtidos dados relativos ao consumo de energia e ao custo global (TCO) em 10 e 15 anos de cada tecnologia, possibilitando um comparativo do diesel e do elétrico a bateria.

No contexto de toda essa pesquisa foi possível concluir que em um tempo médio e aproximado de 10 anos a tecnologia elétrica atinge o seu ponto de equilíbrio, igualando os seus custos à tecnologia diesel. Notou-se que a partir desse tempo a despesas do diesel aumentam de uma forma significativa, conforme apontaram os estudos. Isso se deve ao fato do maior tempo de vida do ônibus elétrico, estimado em 15 anos. No caso do veículo a diesel com o seu tempo, estimado em 7,5 anos, os custos operacionais e de manutenção tendem a aumentar, em face do seu desgaste mecânico.

No que se refere aos custos da bateria, item que mais onera a aquisição desses veículos, aponta-se a viabilidade de “leasing” (locação), possibilitando com isso que os custos menores de operação e de manutenção servirão para pagar essa locação.

Trata-se de uma tecnologia com inúmeras vantagens nas questões da saúde e da poluição ambiental e, ainda, a vantagem da sua vida útil, cerca de 15 anos, ser bem maior que a tecnologia a diesel, com vida útil máxima de 7,5 anos.

Ressalta-se, também, o seu ponto de equilíbrio adquirido em média aos 10 anos, sendo que a partir desse ponto os seus custos se mantêm, o que não ocorre para a tecnologia a diesel, que a partir desse ponto tendem a aumentar os custos operacionais e de manutenção, face ao seu desgaste mecânico e, ainda, por estar além do seu tempo permitido da vida útil. Nessas condições os ônibus a diesel tendem a gerar mais poluição e mais ruído.

Nessa questão do levantamento de dados e das vantagens para a implantação da tecnologia elétrica a bateria, foram considerados os parâmetros adotados, sobretudo em relação ao TCO (Custo Total de Propriedade) e aos custos de manutenção e operação), e, ainda, quanto ao tempo necessário para que haja uma equivalência dos custos da tecnologia diesel e elétrica, conforme apontados nos pontos de equilíbrio dos gráficos abordados para as duas tecnologias.

Ressalta-se que, na consideração dos parâmetros e dos valores levantados para cada Estado e município (Istambul, Califórnia, São Paulo-SP e Campinas-SP), os custos estão em acordo com a moeda local e que certos parâmetros ocorrem em uma região e não aparecem em outras, todavia na comparação das duas tecnologias, e em todas as regiões consideradas, os custos são menores para a tecnologia elétrica, exceto no único aspecto da aquisição. Esses parâmetros e custos são apontados a seguir e estão inseridos na tabelas 33, com custos nas moedas locais e na Tabela 34, a seguir, com custos em dólares americanos.

6.1 Parâmetros e custos de Istambul

Considerando o trecho com maior consumo, em função das características da estrada, aponta-se que:

- Manutenção e Combustível por km de percurso:

Diesel: 0,497 (C) – 0,100 (M)

Elétrico a bateria: 0,047 (C) - 0,043 (M)

Representando um custo 10 vezes maior para o combustível do diesel e de 2,3 vezes maior na manutenção para o diesel.

- Aquisição:

Diesel = 127.000 Euros;

Elétrico = 359.000 Euros.

Representando um custo maior para a tecnologia elétrica de 3 vezes.

- Operação em um ano:

Diesel = 37.878,00;

Elétrico= 5.129,52;

Representando um custo 7 vezes maior para o diesel.

- TCO (custo total de propriedade em 10 anos) e ponto de equilíbrio em 8 anos:

Diesel = média de 440.000 Euros;
 Elétrico = média de 400.000 Euros.

- PB (tempo de retorno):

Diesel = 2,84 anos;

Elétrico = 5,66 anos.

Representando um tempo 2 vezes maior para a tecnologia elétrico.

6.2 Parâmetros e custos da Califórnia

- Manutenção e combustível – (operação anual):

Diesel = 65.000 dólares;

Elétrico = 30.000 dólares.

Representando um custo 2 vezes maior para o diesel.

- Entrada na aquisição, operação, infraestrutura e manutenção) - (16 anos):

Diesel = 285.000 dólares;

Elétrico = 250.000 dólares.

Representando um custo 1,15 vezes maior para o Diesel, no tempo de 16 anos.

Ressalta-se, para a tecnologia elétrico a bateria, uma poupança de 31.000 dólares, ao longo desse tempo, pelo fato da durabilidade da bateria.

- Combustível e manutenção (Tempo de uso dos ônibus):

Diesel = 730.000 dólares;

Elétrico = 290.000 dólares.

Representando um custo 2,5 vezes maior para o diesel. Ressalta-se uma poupança para o elétrico de 81.000 dólares ao longo desse tempo, considerando os custos menores de combustível e as despesas desnecessárias para a área da saúde e um ponto de equilíbrio em 10 anos.

- TCO – Custo de propriedade (aquisição, operação e manutenção) - (12 anos):

Diesel = 1.200.000 (1 milhão e duzentos mil dólares.)

Elétrico = 1.150.000 (1 milhão cento e cinquenta mil dólares);

Representando um custo 1,05 vezes maior para a tecnologia diesel no tempo de 12 anos.

6.3 Parâmetros e custos de São Paulo-SP

- Aquisição (10 anos):

Diesel = 546.000 mil reais;

Elétrico = 955.000 mil reais.

Representando um custo 2 vezes maior para o elétrico.

- Operação – R\$/km:

Diesel = 1,85;

Elétrico = 0,85.

Representando um custo 2,5 vezes maior para o diesel.

- Manutenção – R\$/km:

Diesel = 0,77;

Elétrico = 0,58.

Representando um custo 1,5 vezes maior para o diesel.

- TCO (10 anos):

Diesel = 1,87 milhões de reais;

Elétrico = 1,69 milhões de reais.

Representando um custo maior para o diesel de 9%, ou cerca de 1,1 vezes.

6.4 Parâmetros e custos de Campinas-SP

Condições do levantamento dos dados foram de 18 dias; 3053 km percorridos e 5117 passageiros transportados.

- Consumo de energia:

Elétrico = 3.262 kWh, com um custo de R\$ 1.941,00;

Diesel = nas mesmas condições = R\$ 2.776,54.

Essas condições representam um custo maior de cerca de 1,4 vezes maior para o diesel, culminando em uma porcentagem de 30% de vantagem para o elétrico.

- Custo global em 10 anos:

Constatou-se uma porcentagem de 2, 4% de vantagem para o elétrico.

- Custo global em 15 anos:

Constatou-se uma porcentagem de 39,1% de vantagem para o elétrico.

6.5 Análise comparativa

Nas tabelas 32 e 33 a seguir, foram reunidos os dados das quatro localidades em análise, de forma a facilitar a comparação entre as informações. Importante frisar que os valores são referentes a estudos realizados em locais e anos distintos, com veículos de diferentes fabricantes, o que acaba resultando na assimetria dos dados.

Tabela 32 - Parâmetros e custos de Istambul, Califórnia, Municípios de SP e Campinas - (moeda local)

	Istambul (Euros)		Califórnia (Dólar)		São Paulo - SP (R\$)		Campinas (R\$)	
	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica
TCO (Custo Total de Propriedade)	10 anos	10 anos	12 anos	12 anos	(10 anos)	(10 anos)	(10 anos)	(10 anos)
	440.000	400.000	1.200.000	1.150.000	R\$1.819.677,62	R\$1.539.321,10	R\$2.969.761,25	R\$2.898.317,53
Combustível (C)	0,4326/km (C)	0,041/km (C)	Anual 37.837 (C)	Anual 8.841 (C)	1,85 R\$/km (C).	0,83 R\$/km (C).	1,37 R\$/km (C).	0,58 R\$/km (C)
	0,1004/km (M)	0,0436/km (M)	38.333 (M)	25.000 (M)	0,77 R\$/km (M).	0,58 R\$/km (M).	0,99 R\$/km (M).	0,40 R\$/km (M)
Aquisição	127.000	359.000	110.000	230.000	546.000	955.000	R\$ 530.000	R\$ 1.250.000
Pay-back	2,84 anos	5,66 anos	-	8 anos	-	-	-	-
Ponto de equilíbrio	8 anos	8 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 33 - Parâmetros e custos: Istambul, Califórnia, Municípios de SP e Campinas (Dólares Americanos)

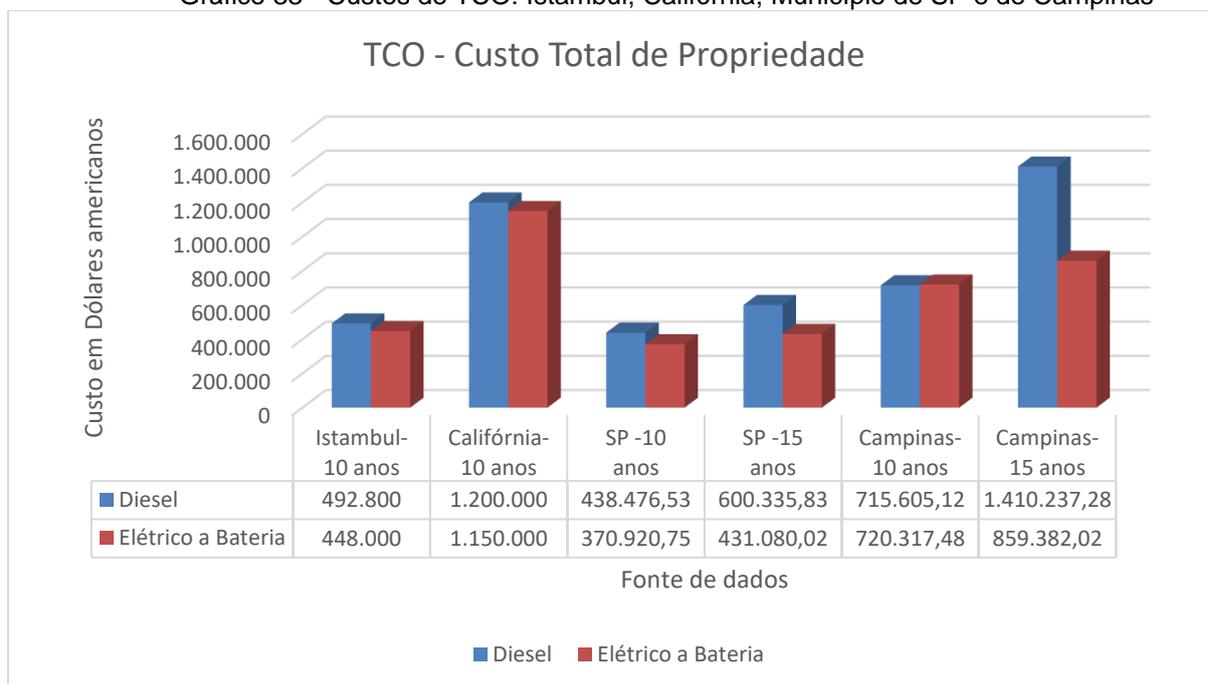
	Istambul (Dólar)		Califórnia (Dólar)		São Paulo - SP (Dólar)		Campinas (Dólar)	
	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica	Diesel	Elétrica
TCO (Custo Total de Propriedade)	10 anos	10 anos	12 anos	12 anos	(10 anos)	(10 anos)	(10 anos)	(10 anos)
	492.800	448.000	1.200.000	1.150.000	438.476,53	370.920,75	715.605,12	720.317,48
Combustível (C)	0,497/km (C)	0,047/km (C)	0,312/km (C)	0,073/km (C)	0,446/km (C).	0,200 /km (C).	0,330/km (C).	0,140 /km (C)
	0,100/km (M)	0,043/km (M)	0,317/km (M)	0,206/km (M)	0,185 /km (M).	0,140 /km (M).	0,238/km (M).	0,096 /km (M)
Aquisição	142.240	402.080	110.000	230.000	131.566,26	230.120,48	127.710,84	301.204,81
Payback	2,84 anos	5,66 anos	-	8 anos	-	-	-	-
Ponto de equilíbrio	8 anos	8 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos	10 anos

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 33, todos os custos foram convertidos para o dólar americano, objetivando com isso uma melhor análise na comparação dos valores dos parâmetros adotados por Istambul, Califórnia, São Paulo e Campinas. A data base de referência foi o dia 16/08/19 e as relações Euro-Dólar e Real foram: - 1 Euro=R\$4,60 - 1 Dólar = R\$4,15 – a relação Euro/Dólar =1,12, ou seja, os valores em Euros foram multiplicados por 1,12 para conversão ao dólar e os valores em Reais foram divididos por 4,15 para conversão ao dólar.

Apesar de Miller et al. (2018) e Proterra (2019) não informarem a distância anual percorrida, foi possível obter tal informação matematicamente, considerando o custo anual com combustível (Gráfico 26), a autonomia dos veículos diesel (4 milhas por galão - Figura 24) e do valor do galão (US\$2,00) médio para 2019, obtendo-se a distância percorrida pelos veículos por ano, cujo resultado foi de aproximadamente 121 mil Km. Com base nestes dados foram calculados os custos por Km rodado na Califórnia, de forma a compará-los com os demais casos citados.

Gráfico 33 - Custos de TCO: Istambul; Califórnia; Município de SP e de Campinas



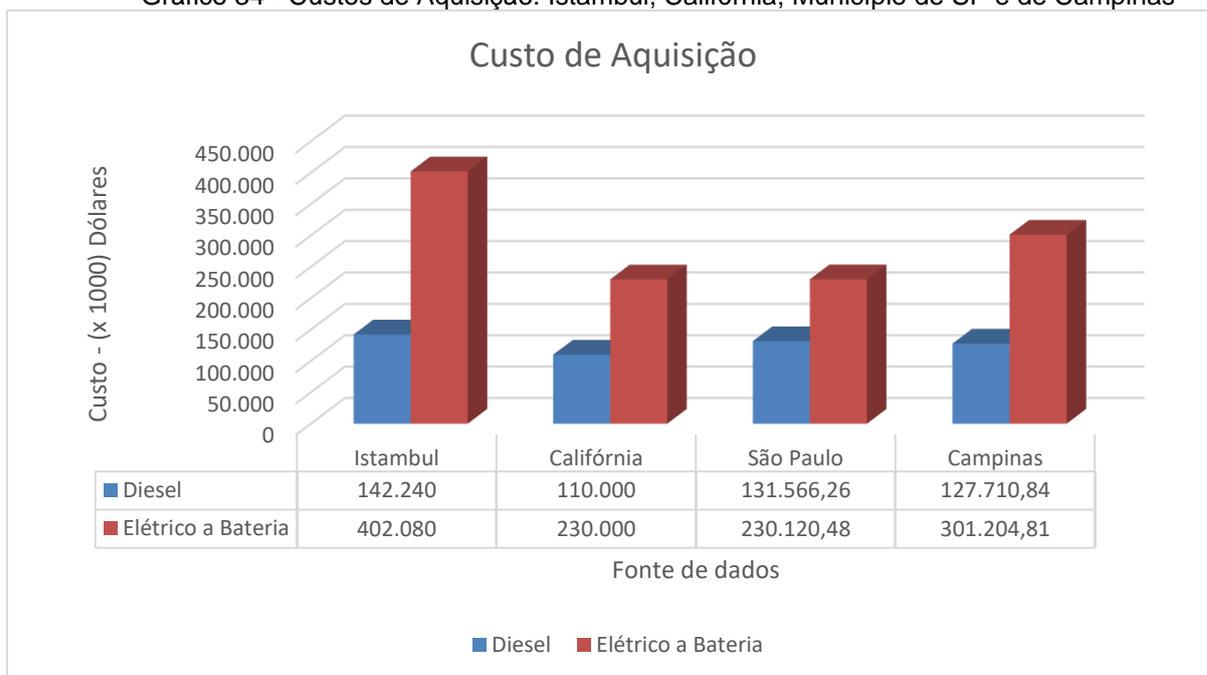
Fonte: Elaboração própria.

Como justificativa dos custos apontados para os municípios de São Paulo e de Campinas, abordou-se a questão dos juros de financiamento, com isso tem-se que: Em relação ao município de São Paulo, segundo Dalmann (2019, p.33), “o financiamento para as despesas de capital para a aquisição de ônibus e infraestrutura consiste em uma entrada de 50%, sendo o restante coberto por um empréstimo com prazo de cinco anos e taxa de juros real de 7,6% ao ano.”

Para o município de Campinas, segundo D’agosto; Gonçalves; Almeida (2017, p.7):

As linhas de financiamento FINAME são: aquisição e comercialização; produção e; modernização. O financiamento de ônibus está dentro da linha aquisição e comercialização, onde a participação do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) no financiamento de ônibus e caminhões para micro, pequenas e médias empresas é de até 80% do investimento e para os demais clientes até 50% do investimento. A Taxa de Juros de Longo Prazo é de 7% ao ano. (D'AGOSTO; GONÇALVES; ALMEIDA, 2017, p.7).

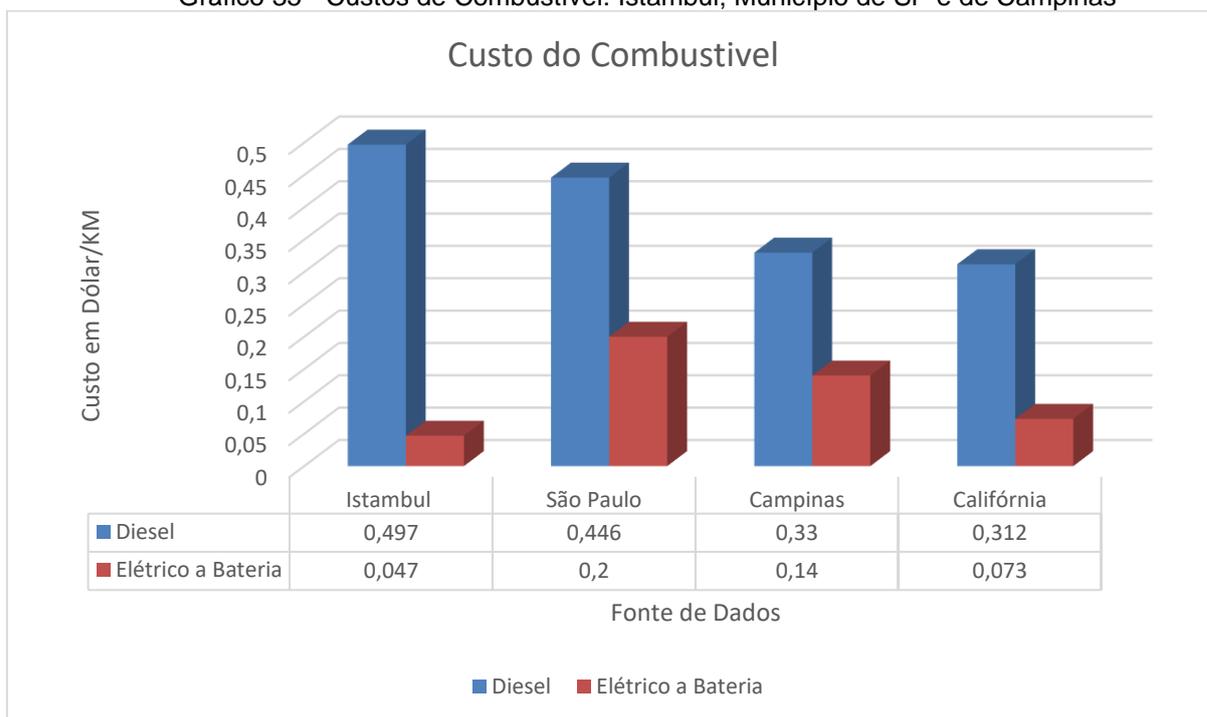
Gráfico 34 - Custos de Aquisição: Istambul; Califórnia; Município de SP e de Campinas



Fonte: Elaboração própria.

Constatou-se, em relação ao gráfico 34, que os valores de custo da aquisição apresentam-se relativamente próximos, para os quatro casos estudados, com custos menores para a Califórnia, considerando as duas tecnologias abordadas.

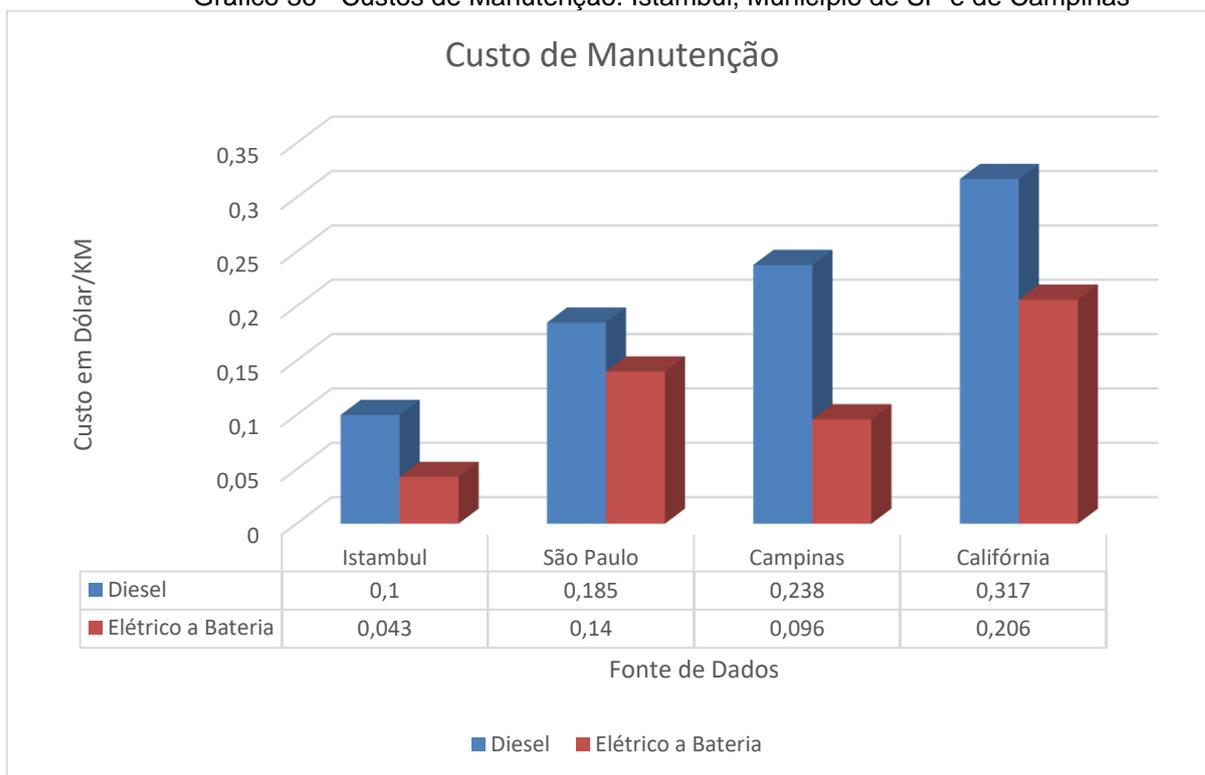
Gráfico 35 - Custos de Combustível: Istambul; Município de SP e de Campinas



Fonte: Elaboração própria.

Constatou-se, em relação ao gráfico 35, que os valores de custo de combustível se apresentam relativamente próximos, para os quatro casos estudados, com custos menores para Istambul, na tecnologia elétrico a bateria, e em Califórnia para o custo do diesel.

Gráfico 36 - Custos de Manutenção: Istambul; Município de SP e de Campinas



Fonte: Elaboração própria.

Constatou-se que os dados apontados, no gráfico 36, nos valores de custo de manutenção, apresentam-se menores para Istambul, nas duas tecnologias abordadas, e maiores para a Califórnia, também para as duas tecnologias.

6.6 Propostas

Com base nos dados apontados na tabela 33 e gráficos 33 a 36, propõe-se que para municípios que optarem por adotar essa matriz energética em seu sistema de transporte coletivo, iniciem o processo de mudança pela inclusão desses requisitos na legislação ambiental do município, seguida da inserção de diretrizes e parâmetros no contexto do processo licitatório, a exemplo do que foi realizado nos municípios estudados.

No levantamento feito, em relação aos processos licitatórios dos municípios de São Paulo e de Campinas, destacou-se o aumento no tempo de concessão na contratação das concessionárias, que antes eram de 10 anos e passou para 15 anos em Campinas e 20 anos em SP. O tempo médio para o uso dos ônibus elétricos a bateria é em média de 15 anos, ao contrário do tempo de uso dos veículos a diesel, que em média duram 7,5 anos, conforme apontado nos dados técnicos das licitações. Essa tendência de uso das novas matrizes energéticas, destacadas nas cláusulas contratuais, acabam justificando essa nova diretriz adotada na questão de tempo contratual.

Na questão específica do processo licitatório, para o município de SP, constatou-se a vinculação desse processo à questão da Lei Ambiental 16802/2018, sobretudo quanto ao compromisso da redução de poluentes, decorrentes dos ônibus a diesel, nos próximos 20 anos a partir da assinatura do contrato. Os índices nos cortes das emissões serão conforme apontados nas tabelas 27 a 29, das páginas 131 a 133.

Observou-se que o investimento inicial nos veículos elétricos a bateria, são consideravelmente maiores, o que deve ser precedido de justificativas consistentes. Como o ponto de equilíbrio dos custos desta tecnologia com relação ao diesel se dá em torno de 10 anos, a partir do qual o elétrico a bateria torna-se mais vantajoso, é necessário alterar também as normas relativas ao tempo de vida útil da frota, estendendo este prazo para 15 anos.

Dado que a vida útil das baterias é superior a esse tempo, o leasing mostra-se como uma melhor opção para os empresários do ramo de concessionárias. Em relação ao município de Campinas destacam-se, como item do processo licitatório, as orientações de preenchimento de documento específico relativo ao leasing das

baterias, apontando com isso uma forma de amenizar os custos na aquisição dos veículos elétricos a bateria.

Com relação ao sistema de recarga das baterias, recomenda-se a instalação de estações de recarga nas garagens, que podem ser equipadas com painéis solares e baterias estacionárias, que passarão o dia sendo carregadas para transferir energia para as baterias dos ônibus durante a noite, em complemento a energia fornecida pela rede. Importante também frisar que o planejamento dos percursos da frota deve levar em conta a autonomia das baterias, assim como a frenagem regenerativa, que contempla em média 35% da recarga ao longo do percurso.

Como item de avanço tecnológico, destaca-se nessa questão o uso das energias renováveis, no município de Campinas, que está montando em alguns pontos de parada de ônibus, no total são 14, painéis fotovoltaicos nos telhados desses espaços. Esses painéis estão conectados ao sistema de geração de energia da CPFL, propiciando com isso créditos de energia para a concessionária. Esses créditos poderão ser usados in loco para recargas rápidas dos ônibus elétricos ou em outros pontos, como nas garagens dos ônibus. Essa tendência vai de encontro a amenização de carga no Sistema Elétrico de Potência da CPFL, objetivando com isso uma certa autonomia e a diminuição nos custos da energia das recargas das baterias. Trata-se, portanto, de uma ideia de propor parceria com as concessionárias de energia, e não de independência energética, como debatido por outros segmentos.

Com relação à mão-de-obra, a proposta é que, dadas as perspectivas de ampliação das frotas deste tipo de veículo, tanto concessionárias quanto fabricantes estejam alinhados com as instituições de ensino técnico local para a formação e capacitação de técnicos de manutenção, cuja demanda é crescente.

Outra questão destacada, na visita realizada à fabricante de veículos Eletra, foi o processo de retrofit, que consiste na adaptação dos chassis e da carroçaria dos veículos a diesel em veículos elétricos, quer sejam elétricos a bateria ou híbridos elétrico-diesel. Esse processo de retrofit possibilita a redução em 40%, em relação aos custos de um veículo novo dessa tecnologia, com isto sendo uma saída mais vantajosa para o problema do custo de aquisição dos veículos elétricos.

7 CONCLUSÃO

Foi objetivo deste trabalho estudar os aspectos técnicos e econômicos da substituição de ônibus movidos à diesel por ônibus elétricos a bateria no transporte coletivo municipal, no contexto do desenvolvimento sustentável.

Ao longo da pesquisa buscou-se evidenciar as principais tecnologias de tração/motorização empregadas atualmente nos ônibus, com destaque para a tecnologia dos ônibus elétricos a bateria (plug-in) no contexto nacional e internacional, detalhando os casos de Istambul - Turquia, Califórnia - EUA, e dois casos brasileiros, nos municípios de São Paulo-SP e Campinas-SP, ambos identificados na literatura.

O estudo destes projetos possibilitou evidenciar a viabilidade desta mudança tecnológica, por meio de uma análise comparativa do Custo Total de Propriedade (TCO), que aborda todos os custos de propriedade do veículo, contemplando as despesas de aquisição, de manutenção, de operação e de infraestrutura. Esta análise apontou que a implantação da tecnologia de ônibus elétrico a bateria é favorável no prazo médio de oito anos se comparada aos custos dos veículos a diesel.

Na questão da sustentabilidade e das estimativas da Lei Municipal 16.802/2018, do município de São Paulo, o ônibus elétrico a bateria se caracterizou como opção mais indicada e favorável, mesmo apresentando o seu custo de aquisição mais elevado, todavia compensado pelos menores custos em manutenção e operação, e pelo modelo de contrato que inclui o leasing/aluguel das baterias, que mostrou-se uma solução interessante, principalmente quanto a preocupação em relação ao ciclo de vida deste componente, cuja destinação passa a ser de responsabilidade da empresa locatária, assim como pela possibilidade da atualização tecnológica ao longo do período de contrato. Outra vantagem do modelo é a abertura para a concorrência de novas empresas especializadas no aluguel de baterias, que poderá reduzir o valor dos alugueis, além de outros impactos positivos na economia.

A visita à EMDEC, em 08/08/2019, empresa pública que cuida da logística do transporte público em Campinas, possibilitou a busca de dados estatísticos e demais informações necessárias, para complementação de estudos e de eventuais conclusões, que colaboraram para a elaboração do projeto final de implantação de ônibus elétrico a bateria, face as suas vantagens relativas as outras tecnologias. Foi possível, também, fazer uma visita a um terminal de ônibus e, como passageiro de um veículo elétrico a bateria, levantar algumas impressões favoráveis, relativas a

inexistência de aquecimento interno do veículo, próximo ao condutor, ressaltando um enorme diferencial nesse aspecto, quando comparado ao veículo com motor a combustão. A questão do ruído inexistente, característica peculiar dos ônibus elétricos a bateria, proporcionando com isso um maior conforto aos usuários desse tipo de transporte.

Na visita à BYD, no dia 29/11/2018, empresa sediada em Campinas, foi possível conhecer o processo da montagem do ônibus elétrico a bateria (plug-in). Nesse processo de produção a empresa, que fabrica o chassi, cuida da montagem completa do veículo e, para a conclusão da montagem, utiliza a carroçaria de outro fabricante. A questão da manutenção fica a encargo da empresa, considerando que no “pacote de venda” está contemplado esse serviço. A empresa oferece, ainda, a instalação da infraestrutura de carregamento ao longo do trajeto desses ônibus coletivos urbanos, com destaque a energia solar, priorizando com isso a aplicação das energias renováveis. Destaca-se que essa empresa também fabrica placas fotovoltaicas, possibilitando com isso o atendimento total da instalação de infraestrutura de recarga das baterias dos ônibus elétricos.

Na visita à Eletra, no dia 21/08/2019, empresa sediada em São Bernardo do Campo, foi possível identificar alguns parâmetros, já abordados no tópico “Tecnologia dos ônibus”. Essa abordagem contemplou os testes e o histórico de implantação, sobretudo dos trólebus. A Eletra, fabricante dessa tecnologia, viabilizou a circulação de cerca de 200 ônibus, sobretudo no município de São Paulo. O diferencial dessa empresa é o processo de retrofit, que possibilita o aproveitamento do chassi e da carroçaria, dos ônibus a diesel, para adaptação a veículos elétricos a bateria ou híbridos, possibilitando uma redução média de 40% no custo de aquisição dessas tecnologias.

Nas decisões efetivas de implantação caberão, sobretudo, o da poluição zero e das vantagens apontadas nas questões dos custos de manutenção, operacionais e, ainda, das perspectivas de redução de custo das baterias, em face das parcerias de empresas, genuinamente brasileiras, fabricantes de baterias.

Por fim, nos casos em que os projetos, em nível Brasil, não possuíam dados disponíveis ou consolidados, foram consideradas as informações provenientes de experiências internacionais, Istambul e Califórnia, adaptando-as sempre que possível aos cenários e características da realidade brasileira.

Dada a questão inflacionária, decorrente de países em desenvolvimento, tornou-se evidente, que não se deveria fazer a comparação entre as simples somas dos custos e dos benefícios, independentemente das datas em que ocorreram, contrariando um dos princípios básicos da economia, segundo o qual a moeda perde o seu valor real ao longo do tempo, considerando que sempre há juros associados ao capital. Entretanto, os dados apresentados, servem para comparativo de valores das diferentes tecnologias e, sobretudo, como um parâmetro indicativo de custo anual por veículo, permitindo compreender-se onde estão os maiores custos de cada tecnologia e para análise de todos os valores levantados optou-se pela conversão ao dólar.

Ressalta-se que as baterias usadas de ônibus elétrico também podem ser reaproveitadas para armazenamento de energia fotovoltaica, no final da vida útil dos ônibus elétricos a bateria, cerca de 15 anos, o que pode ajudar a suportar as novas demandas da rede elétrica, considerando às necessidades das recargas das baterias destes veículos.

Destaca-se, ainda, que após o tempo de vida das baterias, citada pelo fabricante como cerca de 30 anos, haverá a possibilidade de se reciclar quase a totalidade dos materiais, como destacam diversos estudos recentes.

Dadas as limitações de tempo e espaço, alguns aspectos não puderam ser abordados neste trabalho, ficando como sugestão para estudos futuros, tais como: a questão da composição do preço das tarifas aos usuários; aspectos de segurança quanto a incêndios acidentais ou criminosos; formação da mão-de-obra para a manutenção deste tipo de tecnologia; reuso e reciclagem das baterias e demais componentes do sistema eletrônico; estudos sobre as demais tecnologias de motorização citadas no trabalho; integração com outros sistemas de transporte, entre outros temas.

REFERÊNCIAS

ABVE. **Editais abrem caminho para os ônibus elétricos em SP.** 2018. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/editais-abrem-caminho-aos-onibus-eletricos-em-sp/#>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ALECRIM, Emerson. **Estes são os primeiros ônibus 100% elétricos da BYD que irão rodar em São Paulo.**: Ônibus 100% elétricos da BYD têm autonomia de 250 km com uma recarga completa e rodarão na capital paulista a partir de março de 2019. 2019. Editado por Tecnoblog. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/271210/byd-onibus-eletrico-projeto-sao-paulo/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

AUTOINDÚSTRIA. **São Paulo ganha frota de ônibus elétrico.** Disponível em: <<https://www.autoindustria.com.br/2019/11/19/sao-paulo-ganha-frota-de-onibus-eletrico/>>. Acesso em 20 nov. 2019.

BATERIAS MOURA. **Primeiro ônibus elétrico 100% produzido no Brasil nasce de parceria entre Moura, Eletra e XALT.** 2019. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/blog/primeiro-onibus-eletrico-100-produzido-no-brasil-nasce-de-parceria-entre-moura-eletra-e-xalt/>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

BAZANI, Adamo. **Número de ônibus elétricos já alcançou 346 mil unidades no mundo e haverá crescimento.** 2017a. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/06/07/numero-de-onibus-eletricos-ja-alcancou-346-mil-unidades-no-mundo-e-havera-crescimento/>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

BAZANI, Adamo. **Fábrica de ônibus elétricos da BYD Campinas já nasce com encomendas, diz empresa.** 2017b. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/04/07/fabrica-de-onibus-eletricos-da-byd-campinas-ja-nasce-com-encomendas-diz-empresa/>>. Acesso em: 15 maio 2019.

BRASIL. BNDS - Banco Nacional de Desenvolvimento Social. **A energia solar no Brasil.** 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/energia-solar>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010 Cidades e Estados.** 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/>>. Acesso em: 05 set. 2019.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE divulga as Estimativas de População dos Municípios para 2018.** 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acesso em: 03 set. 2019.

BRASIL. MME - Ministério das Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2018: - Oferta e Demanda de Energia - Instalações Energéticas - Energia no Mundo.** 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v2.pdf/66a837a8-4164-4b37-be4a-59a5ad270c50?version=1.0>>. Acesso em: 15 maio 2019.

BYD. **BYD Brasil: Energia Limpa e Renovável. 2019.** Disponível em: <<http://www.byd.ind.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

CAMPINAS. DIÁRIO OFICIAL 12.150. **Aviso de Licitação.** 2019a. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/uploads/pdf/1174491917.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

CAMPINAS. PREFEITURA DE CAMPINAS. **Campinas abre processo licitatório para novo sistema de transporte público.** 2019b. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/noticias-integra.php?id=37047>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

CHEDIAK, Mark. **Electric Buses Will Take Over Half the World Fleet by 2025. The number of electric buses will triple within seven years, and virtually all of them will be in China.** Bloomberg New Energy Finance., 2018. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-01/electric-buses-will-take-over-half-the-world-by-2025>>. Acesso em: 06 de abril de 2019.

COSTA, Luciano. **Energia solar deve crescer 44% no Brasil em 2019 com impulso de geração distribuída:** Entre 2017 e 2018, a geração distribuída já havia mostrado ritmo mais forte, com expansão de 172%, contra 86% nas grandes usinas. 2019. Editado por Época Negócios. Globo. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2019/01/epoca-negocios-energia-solar-deve-crescer-44-no-brasil-em-2019-com-impulso-de-geracao-distribuida.html>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

DALLMANN, Tim. **Climate and air pollutant emissions benefits of bus technology options in São Paulo.** 2019. Disponível em: <<https://theicct.org/publications/climate-and-air-pollutant-emissions-benefits-bus-technology-options-sao-paulo>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

D'AGOSTO, Márcio de Almeida; GONÇALVES, Daniel Neves Schmitz; ALMEIDA, Isabela Rocha Pombo Lessi de. **Ônibus Elétricos a Bateria (plug-in) - Uma primeira avaliação da viabilidade econômica e do impacto na tarifa para o uso nas cidades brasileiras.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (ibts), 2017. 50 p.

DINIZ, Mitchel. **18 pessoas podem morrer por dia na Grande SP por poluição até 2025, diz estudo:** Poluição mata 2 vezes mais que acidente de trânsito, aponta levantamento de instituições. 2018. Editado por Globo.com. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/10/24/18-pessoas-podem-morrer-por-dia-na-grande-sp-por-poluicao-ate-2025-diz-estudo.ghtml>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

ELETRA. **Ônibus Elétrico terá preço igual ao de similar a diesel em 2026.** 2018. Disponível em: <<https://www.eletrabus.com.br/2018/02/12/ate-2026-onibus-eletrico-custara-o-mesmo-que-similar-a-diesel/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

EMDEC. SETRANSP. **Audiência Pública da concessão do transporte coletivo de Campinas.** 2019. Disponível em:<http://www.emdec.com.br/eficiente/sites/portalemdec/pt-br/site.php?secao=concessao_transporte_publico> Acesso em 27 abr. 2019.

EMTU/SP. **Estudo comparativo de tecnologias veiculares de tração, aplicáveis a ônibus urbano. Cadernos Técnicos - 15, 2014.** Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/ftp/Caderno%20Tecnico%20-%20Vol%2015.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FAÇANHA, Cristiano et al. **Deficiencies in the Brazilian PROCONVE P-7 and the case for P-8 Standards.** 2016. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20P-7%20Briefing%20Paper%20Final_revised.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2019.

FARIAS FILHO, Jose Almir; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro. **Eco-urbanismo: Uma revisão sobre outras formas de pensar a cidade.** Encontro Nacional Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, Belo Horizonte 2015. Disponível em: <<https://enanparq2016.files.wordpress.com/2016/09/s44-00-farias-filho-j-machado-d.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

GREENER. **Estudo Estratégico - Segundo trimestre de 2019 - Mercado Fotovoltaico Brasileiro de Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.greener.com.br/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2019.

KUTNEY, Pedro. **Caminhões e ônibus terão metas de eficiência energética:** No Rota 2030 veículos pesados também terão objetivos para reduzir consumo e emissões. 2018. Editado por AUTOMOTIVEBUSINESS. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/27905/caminhoes-e-onibus-terao-metas-de-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

MARQUES, Jessica. **Nova licitação prevê 250 ônibus elétricos para Campinas.** 2018a. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/08/31/nova-licitacao-preve-250-onibus-eletricos-para-campinas/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

MARQUES, Jessica. **EMTU instala placas de energia solar em pontos de ônibus.** 2018b. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/11/11/emtu-instala-placas-de-energia-solar-em-pontos-de-onibus/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

MILLER, Alana et al. **Electric Buses: Clean Transportation for Healthier Neighborhoods and Cleaner Air.** USA - Califórnia: Environment America Research & Policy Center, 2018. 48 p. Disponível em:

<<https://environmentamerica.org/sites/environment/files/reports/Electric%20Buses%20-%20National%20-%20May%202018%20web.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

MILLER, Oshua; FAÇANHA, Cristiano. **Cost -Benefit Analysis of Brazil's Heavy-Duty Emission Standards (P-8)**. 2016. Disponível em:

<https://theicct.org/sites/default/files/publications/P-8%20White%20Paper_final.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

MORAES, Sonia. BYD Apresenta Seu Primeiro ônibus Elétrico Nacional. Editado pela Revista **Technibus**, SP, n. 130, p.08-92, jul. 2017. Bimestral. Disponível em: <<https://acervodigitalotm.com.br/magazines/1149#6>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte - Mg, 2010. Disponível em:

<http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2019.

OLIVEIRA, Marcos de. **Diesel de cana: Combustível vai ser produzido por meio de transformações genéticas em leveduras**. Editado pela revista Pesquisa Fapesp. São Paulo, p. 10-15. nov. 2008. Disponível em:

<<https://revistapesquisa.fapesp.br/2008/11/01/diesel-de-cana/>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ONU. **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes**. 2017. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>>. Acesso em: 19 de ago. de 2019.

PELEGI, Alexandre. **Ônibus abastecido por energia solar roda mais de 10 mil km em Florianópolis**. 2017a. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/06/03/onibus-abastecido-por-energia-solar-roda-mais-de-10-mil-km-em-florianopolis/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

PELEGI, Alexandre. **Transporte Coletivo cresce na direção de motores elétricos e híbridos**. 2017b. Editado pelo Diário do Transporte. Disponível em:

<<https://diariodotransporte.com.br/2017/08/28/transporte-coletivo-cresce-na-direcao-de-motores-eletricos-e-hibridos/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

PERRIN, Fernanda. **E agora, Brasil? transporte urbano: Combustível limpo - Custo é entrave para reduzir poluição de ônibus**. Editado pela Folha de São Paulo. Disponível em:

<http://temas.folha.uol.com.br/e-agora-brasil-transporte-urbano/combustivel-limpo/custo-e-entrave-para-reduzir-poluicao-de-onibus.shtml?_ga=2.255550735.600321096.1572798474-1922075096.1505154759>. Acesso em: 03 set. 2019.

PORTAL SOLAR. **Como preparar a sua construção para Energia Solar.**, 2019.

Disponível em: <[#>](https://www.portalsolar.com.br/como-preparar-a-sua-construcao-para-energia-solar.html). Acesso em: 29 de agosto de 2019.

PROTERRA. **Financiando seu Ônibus Elétrico**. 2019. Disponível em: <<https://www.proterra.com/vehicles/catalyst-electric-bus/financing/>>. Acesso em: 07 set. 2019.

SÃO PAULO (Município). Constituição (2018). Lei Municipal nº 16.802, de 17 de janeiro de 2018. **Lei 16.802/18**. 1. ed. São Paulo, SP, 18 jan. 2018. Disponível em: <<http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16802.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

SÃO PAULO. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **Relatório da Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, p. 198, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

SÃO PAULO. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **ARLA 32**. 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/arla-32/#1548079712774-b59b2116-458b>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

SILVA, Cleide; WETERMAN, Daniel. **Rota 2030 ganha aprovação ‘relâmpago’: Senado aprovou medida em 22 minutos, e decreto de Temer veio uma hora mais tarde**. Editado pelo Estado de São Paulo: Caderno Economia & Negócios. São Paulo, 08 nov. 2018. p. 01-08. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,senado-aprova-a-mp-que-cria-o-rota-2030-materia-vai-a-sancao-presidencial,70002595076>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

TOPAL, Orhan; NAKIR, Ismail. **Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City**. Energies. Istanbul, 11 set. 2018. p. 01-17. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/9/2369/htm#table_body_display_energies-11-02369-t001>. Acesso em: 26 abr. 2019.

UN-HABITAT. **Urbanization and Development: Emerging Futures**. 2016. Disponível em: <[http://wcr.unhabitat.org/wpcontent/uploads/sites/16/2016/05/WCR->Disponível em: Full-Report-2016.pdf](http://wcr.unhabitat.org/wpcontent/uploads/sites/16/2016/05/WCR->Disponível%20em%20Full-Report-2016.pdf)>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

UNFPA. **Situação da População Mundial 2007 - Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano**. 2007. Disponível em: <<http://www.unfpa.org.br/Arquivos/swop2007.pdf>>. Acesso em: 6 de abr. de 2019.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações**. 2. ed. Sp: Érica, 2016. 223 p.

VOLVO - ÔNIBUS BRASIL. **VOLVO Híbrido: Inovação e Sustentabilidade**: Especificações Técnicas. 2019. Disponível em: <<https://www.volvobuses.com.br/pt-br/our-offering/buses/volvo-hibrido.html>>. Acesso em: 12 nov. 2019.