

ANÁLISE COMPARATIVA NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FROTA DE ÔNIBUS ELÉTRICOS E A COMBUSTÃO

Guilherme Dourado Navarro

FATECCS

gdnavarro@gmail.com

RESUMO. Este artigo visa analisar diretamente frotas de ônibus elétricos em relação a frotas de ônibus à combustão. A pesquisa será desenvolvida para comparar os custos em ambos os tipos de frota em quesitos como: uso, autonomia, preços de passagem e valores de aquisição de uma nova frota. Trabalhamos com os objetivos de conceituar e descrever os funcionamentos de uma frota elétrica de ônibus, bem como apontar e descrever as vantagens e desvantagens de uma frota elétrica com relação a uma frota à combustão e comparar de forma direta os custos e gastos de cada tipo de frota a fim de determinar a partir de qual situação os parâmetros custo e usabilidade se tornam interessantes para uma possível substituição da frota à combustão para a frota elétrica. A metodologia utilizada foi a de pesquisa com análise comparativa, visando a explanação dos conhecimentos adquiridos, demonstrados de forma visual para melhor entendimento. A partir das pesquisas realizadas e informações obtidas, podemos concluir que a instalação de uma frota elétrica pode ser considerada mais positiva para trechos de curta e média distância, podendo ser considerada uma viabilidade financeira ao longo do tempo, possibilitando um valor mais acessível de passagem para os usuários finais e sobretudo contribuindo para a diminuição de poluição urbana.

Palavras-chave. *Ônibus elétricos, Ônibus à combustão, Comparativa, Viabilidade financeira, Poluição urbana*

ABSTRACT. This article aims to directly analyze electric bus fleets in relation to combustion bus fleets. The research will be developed to compare the costs in both types of fleet in questions such as usage, autonomy, ticket prices, and acquisition values of a new fleet. We work intending to conceptualize and describe the functioning of an electric fleet of buses, as well as pointing out and describe the advantages and disadvantages of an electric fleet in relation to a combustion fleet and directly comparing the costs and expenses of each type of vehicle fleet in order to determine in which situation the cost and usability parameters become interesting for a possible replacement of the combustion fleet for the electric fleet. The methodology used was the research with comparative analysis, aiming at the explanation of the acquired knowledge, demonstrated in an illustrated way for better understanding. From the research carried out and the information obtained, we can conclude that the installation of an electric fleet can be considered more positive for short and medium-distance stretches, and can be considered more financially viable over time, allowing a more affordable ticket price to end users and, above all, contributing to the reduction of urban pollution.

Keywords. *Electric bus, Combustion Bus, Comparative, Financially Viable, Urban Pollution*

1. INTRODUÇÃO

As discussões acerca da degradação ambiental e a popularização do conceito de energia limpa tem sido um tema frequente em diversos setores da sociedade, na mobilidade urbana não seria diferente. Atualmente pode ser notada uma tendência mundial em promover a redução do consumo de

combustíveis fósseis e da emissão de gases do efeito estufa. Na cidade de São Paulo, em 2018 foi aprovada a Lei nº 16.802 que determina a redução de 100% da emissão de escapamento de CO₂ fóssil e de 95% das emissões de MP e NO_x até 2038. (ZEBRA, 2022)

Conforme divulgado pelo município, existe hoje a capacidade de 15 mil veículos, que percorrem 1.314 linhas, sendo 832 operantes por meio de concessão e 482 por meio de permissão. Essa estrutura transporta quase 3 bilhões de passageiros por ano, possuindo uma das maiores frotas de ônibus da América Latina.

Com um contexto de transição energética com base em fontes renováveis em alta, foi escolhido como solução principalmente os ônibus elétricos à bateria para cumprir as metas estabelecidas, seguindo como a mesma medida adotada por diversos países, podendo reduzir assim a emissão de poluentes e os custos de operação.

Este estudo tem o objetivo de analisar os parâmetros de custo de ônibus elétricos e ônibus à combustão, vida útil, capacidade, autonomia e impactos ambientais de ambas as tecnologias, para ilustrar vantagens e desvantagens de uma frota elétrica em relação à uma convencional a fim de chegar a conclusão quanto a viabilidade de uma substituição da frota.

Para uma otimização e substituição de frota, deve-se passar pela análise de três tópicos essenciais: a configuração inicial da frota, avaliação das características dos veículos e fatores econômicos MATIAS (2019).

Uma preocupação importante, senão principal, de muitas empresas, é o custo de aquisição de uma nova frota, com foco em diminuir o valor dos veículos e para que sua longevidade da frota se mantenha dentro do programado, por se tratar de veículos de alto custo, estes períodos costumam percorrer por anos, por isso uma opção com relação custo/autonomia passa a ser interessante.

1.1 OBJETIVO E ESTRUTURA

Este estudo consiste em estipular e medir parâmetros com intuito de contrapor diretamente ambos os tipos de frotas de ônibus. Tem o propósito de sugerir até que ponto se torna interessante a opção de uma possível substituição dos veículos com base nos parâmetros de custo, autonomia, capacidade, longevidade e possíveis impactos no custo da passagem, que se trata de um dos impactos diretos com o consumidor final.

O primeiro tópico versa sobre o de ônibus à combustão, abordando sua criação e evolução, com o objetivo de contextualizar sua tecnologia.

No segundo tópico será introduzida a situação climática e o interesse de se reduzir a combustão de combustíveis fósseis e emissão de gases poluentes, focado no impacto gerado por este tipo de veículo. Será introduzida a história e tecnologia dos veículos elétricos no terceiro tópico, demonstrando suas funcionalidades e aplicações.

O quarto tema centraliza os critérios de análise estipulados entre as duas frotas, com comparações

diretas quanto aos parâmetros escolhidos.

Já no último tópico são apresentadas as conclusões baseadas nos parâmetros estabelecidos.

2. SURGIMENTO E FUNDAMENTOS DOS PRIMEIROS ÔNIBUS À COMBUSTÃO

O surgimento dos primeiros "ônibus" aconteceu na França, mais especificamente em Nantes no ano de 1826, como uma alternativa para alavancar os negócios de um empresário chamado Stanislav Baudry que, utilizando o meio de transporte coletivo, realizava o traslado de potenciais clientes de seu negócio entre pontos fixos na cidade. Notando que a adesão ao chamado "omnibus" realizava-se com maior finalidade de locomoção entre os locais e não para a frequência ao seu estabelecimento, o empresário decidiu solicitar uma autorização para a realização do transporte coletivo, instituindo em Nantes o primeiro serviço de transporte coletivo com o nome de "Omnibus" (Museu Virtual do Transporte Urbano apud Gaillard, 2004), sendo que o transporte ainda era realizado por meio de tração animal.

A primeira utilização de transporte movido à combustão é datado por volta de 1863, por meio da criação de uma carruagem motorizada por Etienne Lenoir, segundo Weeks. Já na década de 1870, a Alemanha realizava feitos em relação ao progresso da tecnologia de combustão, uma vez que Siegfried Samuel Marcus realizava a primeira utilização de derivados de petróleo como combustível e Nikolaus Otto criava o conceito do Ciclo Otto com quatro tempos e o aplicava de forma eficiente, em 1876, juntamente com Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach. O Ciclo Otto eventualmente se constituiria como o padrão para a maioria dos novos desenvolvimentos que aconteceriam subsequentemente.

Posteriormente, em 1886, Karl Benz e Gottlieb Daimler concretizam a patente do primeiro ônibus à combustão, derivado de um Landau, e em 1895 o modelo de veículo realizava um trajeto entre três cidades da Alemanha levando cerca de 8 passageiros. Cerca de três anos depois foi inaugurado o primeiro serviço público de ônibus em Wuerttemberg e em 1905, a cidade de Berlim ganhou o serviço público de transporte e nos anos seguintes novas melhorias surgiram visando o conforto, velocidade e estabilidade do veículo.

No Brasil, os ônibus surgem em 1908 no Rio de Janeiro, fazendo a ligação entre o Passeio Público e a Praça de Mauá, sendo realmente instituído posteriormente no final da década de 1920, quando as companhias de transporte começaram a adquirir mais unidades dos veículos e em menos de uma década, os ônibus se tornaram um dos principais meios de transporte da massa populacional por sua flexibilidade de horários e a facilidade apresentada por não necessitar de trilhos, além de ser mais rápido do que os outros meios de transporte da época.

Em 1911 os ônibus começam a se espalhar para os outros estados, primeiramente para São Paulo, onde posteriormente é criada a Companhia Municipal de Transportes Coletivos, em 1946, para organização das linhas de transporte da cidade, com grande eficácia em suas intervenções, sendo

responsáveis pela implementação dos “trólebus” em 1949, que atuam até os dias de hoje em São Paulo. Apesar de ter sido descontinuada em 1994, a CMTC abriu o caminho na época para que hoje a atualização e novas iniciativas de transporte tenham espaço não somente em São Paulo, mas no restante do Brasil também, por meio da testagem de tecnologia e implementação de alternativas de transporte mais limpo, utilizando combustíveis inusuais à época, como Gás Natural, Metano e a própria energia elétrica utilizada nos “trólebus” e eventualmente nos contemporâneos ônibus elétricos.

2. ADVENTO DO CONSUMO CONSCIENTE E SUSTENTABILIDADE

Segundo Russo (2000), no começo do século XX não se discutia a qualidade ou disponibilidade do ar pois acreditava-se ser um recurso constantemente disponível para a vida no planeta. Entretanto, a industrialização constante e o número crescente de fontes poluentes disponíveis para a população contribuíram para que esse assunto fosse tratado com mais seriedade, uma vez que estes fatores contribuem de forma intensa para a poluição da atmosfera (Cesar et al., 2013). Ainda que algumas fontes naturais tenham contribuído para a poluição do meio ambiente de forma geral, o aumento de usinas siderúrgicas bem como a queima de combustíveis fósseis ganhou força após a revolução industrial, sem pensarmos nas reais consequências a longo prazo do emprego dessas novas tecnologias e inovações.

Atualmente, ainda que não sejam as principais fontes poluentes no meio urbano, os ônibus têm uma parte significativa na poluição do ar e no aumento de doenças relacionadas à poluição do ar, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (2015), representando cerca de 37% de participação no itinerário dos habitantes da Região Metropolitana de São Paulo em 2017 (ITDP Brasil, 2017) e necessitando, portanto de uma atenção dedicada dos órgãos governamentais a fim de reduzir esses números de forma gradativa e constante.

Consequentemente, no ano de 2018, a cidade de São Paulo expediu uma emenda, alterando um dos artigos da sua Lei de Mudanças Climáticas, definindo novos objetivos para os próximos 10 e 20 anos, visando a diminuição da emissão de gases poluentes ao longo dos anos, até 2038 (DALLMANN, 2019), uma vez que a legislação promulgada em 2009 definiu uma redução de 10% ao ano de ônibus movidos a combustíveis fósseis, meta ambiciosa que não foi atingida, uma vez que atualmente o percentual de ônibus sem combustão representa cerca de 2% (Cidade de São Paulo, 2009). Alguns pontos interessantes e viáveis a serem citados em relação à Lei de Mudanças Climáticas é a prioridade na expansão da linha de trólebus e de ônibus à eletricidade já existente, uma vez que o Brasil representa o quarto lugar em relação à quantidade de ônibus elétricos na América Latina (BRITO, 2022) e o fato de que as operadoras de transporte devem manter um relatório anual das emissões totais anuais e por quilometragem, o que determina parâmetros quanto aos benefícios a longo prazo que uma frota “verde” pode causar.

Considerando que atualmente a sociedade enxerga com mais clareza a necessidade eminente de uma conversa, planejamento e mudanças relativas a um equilíbrio entre as demandas da sociedade e as do meio ambiente, a substituição de frotas de transporte coletivo tem acontecido com sucesso em outros países, para mitigar um pouco das consequências que a os veículos que permitem mobilidade

urbana podem causar. A evolução da tecnologia permite hoje que a substituição seja feita de forma mais viável, até mesmo economicamente, uma vez que o preço das baterias utilizadas para abastecer ônibus elétricos caiu cerca de 89% na última década segundo estudo realizado pela agência Bloomberg, portanto chegar à uma frota majoritariamente elétrica nas próximas décadas, visando a saúde tanto civil quanto do Meio ambiente aparentemente não se trata mais de uma utopia.

3. VEÍCULOS ELÉTRICOS COMO ALTERNATIVA VIÁVEL

3.1 BREVE HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

É comum acreditar que a tecnologia dos motores elétricos é recente por ser um tema fortemente citado e com grande volume de investimento atualmente. Diferentemente do que se acredita popularmente, motores tanto elétricos quanto híbridos não fazem parte de grandes revoluções tecnológicas, apesar de evoluções claras como tecnologias digitais e baterias de lítio e íon que auxiliam em uma maior autonomia. Com ambos os motores possuindo a geração de energia cinética gerada pelo movimento do veículo, as funcionalidades básicas de um automóvel elétrico atual se assemelham muito aos antigos.

O primeiro veículo elétrico é proveniente do ano de 1834 sendo produzido pela colaboração entre cientistas europeus e norte-americanos, Thomas Davenport (americano) e Robert Davidson (escocês) são os principais nomes desta cooperação. Os veículos desenvolvidos utilizam baterias não recarregáveis para o funcionamento, gerando uma nova tecnologia, porém, um gargalo para sua popularização. MATIAS (2019).

De acordo com BARAN (2012) a história das baterias é totalmente ligada aos motores elétricos. Gaston Plante, belga, utilizando chumbo e ácido fez a apresentação das primeiras baterias em 1859. Onde países como França, Estados Unidos e Reino Unido passaram a utilizar esse equipamento em veículos elétricos que começaram a ser desenvolvidos em 1880.

Em comparação à combustão interna, os veículos elétricos apresentam diversas vantagens como: não emitir ruídos quando em funcionamento e a inexistência de vibrações dos motores de combustão ou movidos a vapor. A junção desses benefícios com as novas baterias criadas por Gaston, os veículos elétricos passaram a se popularizar em 1895 entre os americanos. (BARAN; LEGY, 2010)

Como citado anteriormente a indústria automobilística com foco em carros a combustão se fortificou e começou a se desenvolver com mais velocidade a partir dos anos 1890, no entanto, o carro mais popular na virada do século era um veículo movido a vapor, chamado de “Locomobile”. Com motores de funcionamento elétrico e a vapor dominando o mercado americano, tecnologia que se considerava cada vez mais superior quando em 1899, o primeiro automóvel a superar a velocidade de 100km/h trata-se do carro “Le Jamais Contante”, um veículo elétrico. BARAN (2012).

Segundo MATIAS (2019) Estas vantagens que proporcionaram o topo do mercado aos automóveis elétricos, a cidade de Nova York em 1899, já possuía uma frota de 60 táxis elétricos a disposição.

Confirmado por Baran e Legey (2010), demonstrando que em 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1.681 a vapor e 936 a gasolina no mercado norte-americano. No ano de 1901, o desenvolvimento de baterias níquel-ferro, níquel-zinco e zinco-ar forneceram aos carros elétricos até 40% de maior autonomia, tendo em vista que o tempo de duração das baterias era vista como uma desvantagem deste tipo de veículo. Juntamente com tecnologias de frenagem regenerativa, transformando energia cinética em energia elétrica e o desenvolvimento de veículos híbridos movidos a gasolina e eletricidade.

Seguindo conforme Baran e Legey (2010) em Nova York no ano de 1903, a proporção se mantinha da seguinte maneira: 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos, com a frota de carros elétricos chegando ao seu pico de 30.000 unidades. Eventualmente houve o decaimento do número de automóveis elétricos nos anos seguintes devido à alguns fatores como: a facilidade para iniciar a partida do carro a partir de 1912 após a substituição da antiga manivela por um novo dispositivo; a conexão de várias cidades se dar por meio rodovias em 1920, o que demandava carros que percorrem maiores distâncias; e finalmente a diminuição dos custos de gasolina que ocorre após a descoberta de poços de petróleo no Texas e redução no valor de compra de automóveis à combustão que passaram a ser produzidos em massa.

Devido a estes fatores, apesar de se popularizarem no final do século XIX e início do século XX, os carros elétricos caíram em desuso, ligando ao fato crítico da bateria ainda ser limitada fizeram com que fosse gerado o desaparecimento dos carros elétricos. (MATIAS, 2019).

Este tipo de veículo se manteve nessa situação durante todo o período posterior a 1930 até que o lançamento do Toyota Prius, em 1997, iniciou um crescimento no lançamento de automóveis híbridos e mais recentemente totalmente elétricos no mercado. (BARAN, 2012)

3.2 TECNOLOGIAS ATUAIS

Com o passar do anos, a tecnologia dos desse tipo de veículo aumentou e se desenvolveu rapidamente. É classificado como EV (electric vehicle), todos os veículos que possuem como principal fonte de propulsão o motor elétrico, utilizando como alimentação baterias que são recarregadas conectando o veículo a carregadores externos ou na rede. LUZ e ALBUQUERQUE (2019).

Dentre suas variações no mercado podemos encontrar: veículos elétricos híbridos plug-in (PHEV), veículos elétricos com extensão de alcance (REEV), veículos elétricos a bateria (BEV) e veículos elétricos a células de combustível (FCEV), porém veículos híbridos são excluídos desta classificação.

Veículos Elétricos

No lugar de um motor a combustão possuem um pequeno elétrico, uma vez que pode-se ter uma independência energética, deixando de lado os combustíveis fósseis, podemos encontrar grandes vantagens tanto como econômicas quanto ambientais uma vez que pode-se atingir uma eficiência energética de até 90%. As baterias foram um fator preocupante para este tipo de automóvel, pois não

podiam percorrer grandes distâncias e seu tempo de carregamento era muito longo. Atualmente sua autonomia aumentou muito e teve o tempo de carregamento drasticamente reduzido. Matias (2019).

Veículos Elétricos Híbridos

Diferentemente dos citados anteriormente, veículos híbridos recebem um ou mais extensores de autonomia embarcados além da eletricidade, seus benefícios podem ser classificados conforme Luz e Albuquerque (2019):

Maior eficiência em comparação com veículos de combustão interna. tudo cagado poha beleza
Funcionamento como gerador estacionário para alimentação de instalações ou de outros veículos.

- Redução no tamanho de componentes.
- Produção de ruídos inexistente devido ao uso de motor elétrico.

Veículos Elétricos com extensor de energia

Extensores de autonomia são uma medida opcionalmente equipados nos veículos a fim de aumentar sua autonomia em média entre 30km a 60km. (Matias, 2019)

Luz e Albuquerque (2019) descrevem como extensores de energia:

- Pilhas a combustível: por meio de processos eletroquímicos, converte a energia química do hidrogênio sob alta pressão contida em tanques embarcados em energia elétrica.
- Grupo motor-gerador: possui um motor a combustão interna funcionando como gerador para o motor elétrico.
- Motores a combustão interna: podendo funcionar ao mesmo tempo do motor elétrico, possuem alimentação através de tanques de combustível ou cilindros de gás natural.
- Supercapacitores: Restauram energia cinética da frenagem na forma de energia mecânica, possuem força para grandes cargas concentradas.

Veículos Elétricos de célula de combustível

Seguindo conforme Matias (2019) esta classificação tem sua energia elétrica fornecida através da reação química exotérmica, não gerando queima de combustível e tendo a água como subproduto de uma célula de combustível de hidrogênio. Esta descrição pertence aos veículos utilizados no mercado

atualmente.

3.3 BATERIAS

Os tipos mais comuns de baterias utilizados em veículos elétricos são as de íons de lítio, as de níquel-hidreto metálico e as de chumbo ácido, de acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos. É estimado que o tempo de vida útil de uma bateria varia entre 08 a 10 anos, perdendo em média 20% de sua capacidade, sua reciclagem pode ser feita para outras atividades que se utilizem de menor demanda energética.

Luz e Albuquerque (2019) listam e descrevem tipos de baterias utilizadas no meio automobilístico:

Baterias de íons de lítio

São amplamente utilizadas atualmente por possuir grande energia específica e eficiência.

Baterias níquel-hidreto metálico

Dispõem de grande vida útil e são utilizadas em veículos no mercado, porém seu elevado custo, calor gerado e autodescarga limitam sua tecnologia.

Baterias de chumbo ácido

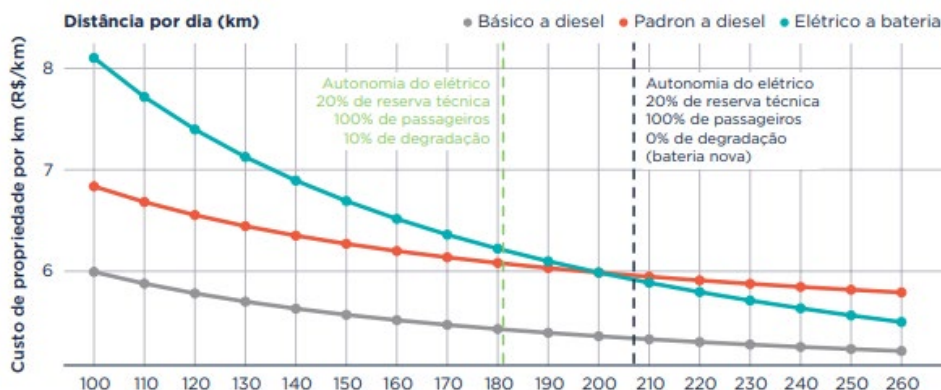
São baratas e têm potencial de fornecer altos fluxos de energia instantâneas, possuem baixa densidade de energia e baixa vida útil, são a tecnologia mais antiga nesse meio e são descartadas para produções em larga escala.

4. COMPARATIVO ENTRE DOIS MODELOS DE FROTA

4.1 CUSTOS

Com relação a veículos a combustão, o preço do diesel está muito relacionado ao seu custo geral periódico, este valor pode variar de acordo com o volume comprado, porém no ano de 2019, segundo a Agência Nacional do Petróleo foi estipulada uma média de R\$3,26/L. (Ferreira, 2020)

Figura 01: CTP por quilômetro percorrido



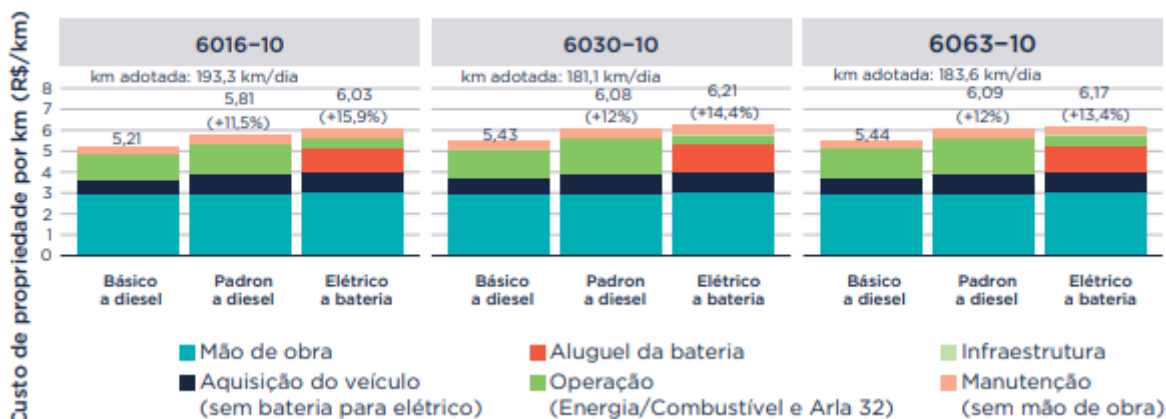
Fonte: ZEBRA (2022)

Como pode ser analisado no gráfico, o custo de propriedade para ônibus padrão movidos a diesel e elétricos em questão de menores distâncias demonstram um valor mais elevado para veículos eletrificados, R\$8,00, enquanto ônibus padrão e básicos apresentam respectivamente R\$7,00 e R\$6,00.

A partir de 180 quilômetros os valores começam a se equiparar entre elétricos e padrão e por volta de 210 quilômetros rodados o veículo menos poluente passa a ser mais interessante economicamente, tendo em vista que quanto maior a quilometragem, maior a redução com relação a ônibus de linha padrão. Os veículos básicos de linha se mantêm sempre com menor custo.

Outros custos relacionados aos veículos de transporte coletivo podem ser listados, como: Mão de obra, aquisição do veículo, operação de baterias e em caso de veículos elétricos o aluguel das baterias utilizadas, custos de infraestrutura e manutenção conforme a figura 02:

Figura 02: Comparativo de CTP por tipo de veículo



Fonte: ZEBRA (2022)

A mão de obra representa o maior valor agregado ao custo por propriedade dos ônibus, onde geram por volta de R\$3,00 por km rodado. Para automóveis a diesel, o custo de operação passa ser a segunda mais elevada, no entanto, para elétricos que têm esse valor mais baixo, possuem o aluguel de bateria que compõem grande parte de seu custo de propriedade.

Os valores de aquisição de novos ônibus se mantêm equiparável para ambos os modelos, demonstrando que independentemente do tipo de tecnologia, seu custo de aquisição é aproximado.

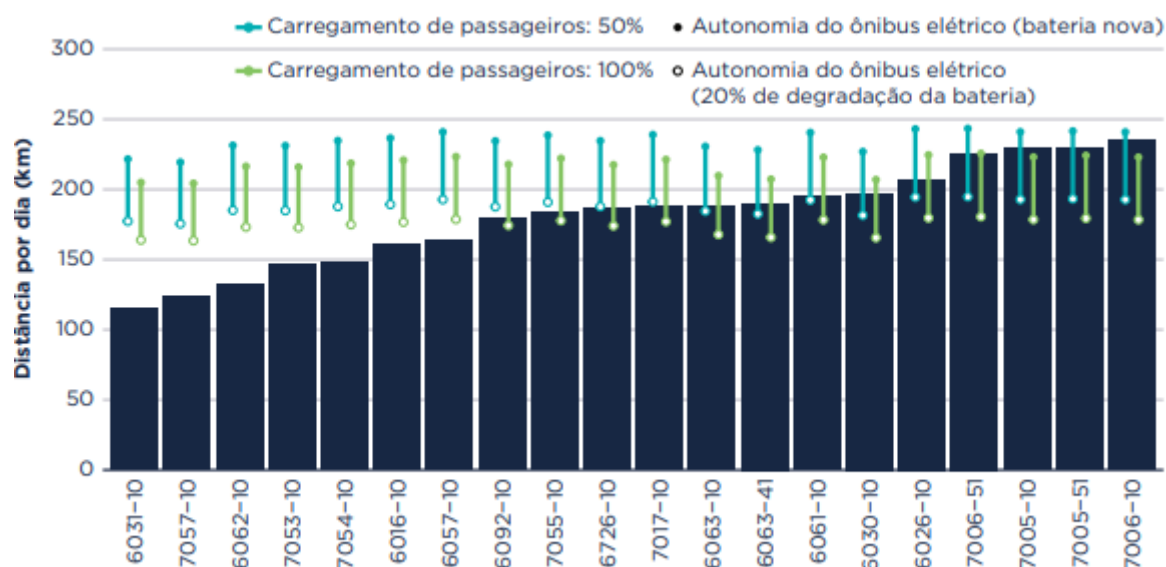
De maneira geral o CTP dos veículos a diesel demonstram uma economia melhor, tendo em vista que os ônibus padrão possuem uma alta de de valor por volta de 12% e eletrificados em média de 14% de aumento com relação à ônibus básicos a diesel.

4.4 AUTONOMIA

O percurso a ser traçado pelo veículo pode variar bruscamente de acordo com a especificidade e quilometragem da via, os ônibus necessitam de uma boa autonomia para suprir diferentes tamanhos de trajeto. O ônibus elétrico “Azure A12 BR”, novo modelo divulgado pelo município de São José dos Campos, tem uma autonomia média de 270 km, autonomia elevada em comparação com outros

modelos. Seu carregamento provém de uma recarga de 3 horas, que pode ser feita durante a madrugada.

Figura 03: Avaliação da autonomia em diferentes cenários



Fonte: ZEBRA (2022)

Conforme estudo fornecida pela ZEBRA (2022), analisadas 20 linhas de ônibus elétricos, a figura 03 demonstra diferentes cenários como desde pequenos a grande percursos até a autonomia da bateria, podendo estar nova ou 20% degradada, simulando a passagem do tempo de utilização, passando também por número de passageiros em lotação média e máxima.

Demonstrando dentro de todos os cenários, que este tipo de tecnologia supre ambas as demandas, tanto menores, com sobra, quanto longas distâncias com lotação máxima, que chega perto da autonomia máxima do automóvel.

Em comparativo, ônibus convencionais tem sua quantidade de quilômetros percorrida proveniente do tamanho do seu tanque de combustível, deixando com que sua autonomia seja mais elevada com

relação a um automóvel com motor elétrico. ônibus a diesel possuem uma autonomia mais elevada, podendo chegar a 450 km enquanto um veículo eletrificado tem uma autonomia média de 200 km. (LOVATTO, 2020)

4.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

O fator ambiental é de suma importância para esta análise, haja vista que esse parâmetro é de extremo interesse popular na sociedade atual. A emissão de gases poluentes em ônibus a diesel é um fato recorrente e preocupante, nota-se que as emissões anuais de escapamento de CO₂ fóssil atingiram 1,24 toneladas no ano de 2016. DALLMANN (2019)

Outro dado foi fornecido pela CETESB em 2012, citada por Carbone, Nour e Costa (2021), destacando diferentes áreas metropolitanas do país, também fornecidas em forma de toneladas por ano:

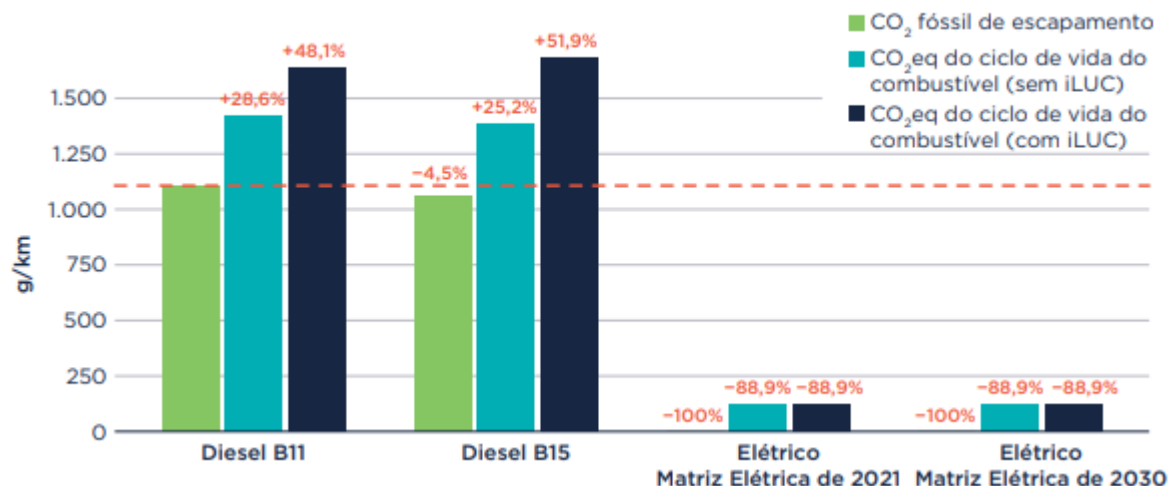
Figura 04: Emissão das principais regiões metropolitanas em ton./ano.

Região Metropolitana	Emissão de CO em ton./ano
São Paulo	2327
Campinas	530
Vale do Paraíba e Litoral Norte	419
Baixada Santista	248
Macrometrópole Paulista	4166

Fonte: Carbone, Nour e Costa (2021)

Em contraponto, motores eletrificados não emitem nenhum químico que possa ser danoso ao ambiente, tendo como água seu único subproduto direto desse processo. Tendo como clara vantagem uma frota de veículos elétricos. (Matias, 2019).

Figura 05: Comparativo de emissão de poluentes



Fonte: ZEBRA (2022)

Como abordado na figura anterior, há uma clara discrepância entre os dois modelos tecnológicos nesse tema, demonstrando principalmente a redução de 100% de emissão de CO₂ fóssil e de quase 90% de ambos os poluentes também citados, tanto no presente quanto futuramente.

Matias acrescenta também que além da poluição ambiental, a poluição sonora também é reduzida drasticamente pois motores elétricos tem a vantagem da existência de ruídos, deixando o ambiente muito menos degradante.

4.6 CAPACIDADE

Os ônibus podem variar de capacidade de acordo com sua forma, tamanho e disposição de cadeiras e outros dispositivos. Neste caso é interessante citar e comparar linhas que possuíam ônibus a combustão e que foram substituídos por veículos elétricos para que tenhamos uma melhor visibilidade.

Na cidade do Rio de Janeiro uma cidade dispões de linhas de ônibus que foram substituídas em 2014, em uma comparação direta podemos levantar que a linha eletrificada possui uma menor capacidade

com relação a combustão, onde o ônibus testado comporta em média 50 pessoas, seu antecessor possuía uma média mais elevada de 60 passageiros, capacidade média de um ônibus básico. (Wilson, 2015).

Em um estudo mais recente, o modelo “Azure A12 BR”, nova aquisição do município de São José dos Campos, como citado anteriormente, tem capacidade mais elevada do que um ônibus convencional, podendo cumprir o número de 78 passageiros.

4.1 VIDA ÚTIL

O ciclo dos tipos comparados de veículos é proveniente de sua tecnologia, e montagem. Ambos os veículos, tanto elétricos quanto a combustão possuem a mesma estrutura de chassi, permitindo que preços de aquisição e manutenção se tornem mais equilibrados. (ALECRIM, 2017)

A peculiaridade dos automóveis eletrificados e a sua bateria, sua vida útil representa uma preocupação para interessados no ramo, em contraponto sua autonomia geralmente tem boa retenção, com uma perda por volta de 20% de uma capacidade inicial. Em seus primeiros 175.000 Km de condução, é previsto que não tenha atingido seu limite. (MATIAS, 2019)

Matias (2019), acrescenta que a duração de uma bateria é compatível com o tempo esperado de um veículo comum. Pode-se concluir que em um mesmo chassi e com a mesma manutenção, a vida útil de ambos é próxima.

4. CONCLUSÃO

Com o intuito de contabilizar as vantagens de cada tecnologia abordada, foi elaborada a seguinte figura:

Figura 06: Vantagens de cada tipo de frota

Fatores Comparativos	Frota eletrificada	Frota a combustão
Custos iniciais	✓	✓
Custos de manutencao	✓	
Autonomia		✓
Capacidade	✓	✓
Vida útil*	✓	✓
Impactos ambientais	✓	

Fonte: Desenvolvimento próprio

Comparativamente, os custos de aquisição e manutenção se mantêm próximos, com chassis no mesmo padrão, mesmas manutenções, o preço do diesel influencia negativamente nos custos nessa comparação, tendo em vista seu preço mais elevado a longo prazo.

Em questões de autonomia, em um primeiro momento ônibus eletrificados têm um maior custo de propriedade por quilômetro em comparação a veículos a diesel, que conforme o tempo de utilização e aumento na quilometragem rodada decai e supera motores a combustão. Por outro lado, a autonomia direta de um ônibus a diesel é superior a um veículo eletrificado, como citado anteriormente é contabilizado nas vantagens de cada modelo.

Os níveis de capacidade também encontram-se equiparados, pois vai variar do modelo adquirido e para qual finalidade ele estará disposto a cumprir.

Com base nas informações prestadas, analisando os parâmetros apontados, pode-se concluir que de maneira ampla os veículos elétricos são uma ótima e mais vantajosa alternativa para uma frota de ônibus, demonstrando não apenas fatores ambientais claros como se equipara em capacidade, custos e

autonomia, principalmente a longo prazo onde veículos eletrificados passam a superar motores a combustão gerando cada vez menos custo com mais quilometragem rodada pelos ônibus de linha.

Ainda por se tratar de estruturas similares, vale destacar que o parâmetro de vida útil encontra-se empatado pois em se tratando de chassis semelhantes, com a manutenção correta ambos os modelos vão durar aproximadamente o mesmo tempo sem grandes problemas, sua principal diferenciação provém da vida útil das baterias da frota elétrica que necessita de substituição. Por outro lado este valor se aproxima dos custos de combustível da frota movida a diesel, nota-se como citado anteriormente neste estudo, as baterias sofrem muitas evoluções tecnológicas com o passar dos anos e ainda tem a possibilidade de aumentar mais ainda sua vida útil. Devido a essas observações, este fator não gera grande vantagem para nenhum dos modelos abordados.

Tendo em vista que empresas de ônibus permanecem prestando serviço por longos períodos de tempo com os municípios, uma frota de ônibus eletrificados se torna mais vantajosa, tanto economicamente quanto ecologicamente, pois veículos elétricos se demonstraram mais interessantes a longo prazo. Fatores que podem afetar diretamente os consumidores das linhas de transporte coletivo, haja vista que com a diminuição dos custos, pode acarretar em uma diminuição no preço das passagens gradualmente, favorecendo inúmeras pessoas sem gerar nenhum tipo de prejuízo a empresa prestadora de serviço.

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração dessa pesquisa me encontrei auxiliado por diversas pessoas e instituições, gostaria de agradecer primeiramente a orientadora Patrícia Pantojo Carbonari pelas instruções prestadas, juntamente com a FATEC - SÃO SEBASTIÃO. Agradeço à prefeitura de São Sebastião por ceder estrutura e equipamento para resolução desta análise. E por fim, agradecer especialmente a minha amiga Rayssa Moraes por sempre me auxiliar, incentivar e fazer com que fosse possível, desde o início dos estudos, a finalização deste artigo.

REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson. Primeiro ônibus elétrico fabricado no Brasil vai circular em São Paulo. [S. l.], 14 jul. 2017. Disponível em: <https://tecnoblog.net/noticias/2017/07/14/onibus-eletrico-byd-sao-paulo/>. Acesso em: 1 nov. 2022.

BARAN, Renato. A INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL:: AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CONSUMO DE GASOLINA E ELETRICIDADE. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/10634/1/Doutorado_Renato%20Baran_P_PO_BD.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

BARAN, Renato; LEGY, Luiz. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

CARBONE, Aparecida silva Santos; NOUR, Edson Aparecido Abdul; COSTA, Diogenes Cortijo. “ANÁLISE DA EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS POR ÔNIBUS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS EM BARÃO GERALDO, CAMPINAS-SP. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1110.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2022.

CIDADE DE SÃO PAULO: ESTRUTURA. [S. l.], 1 nov. 2022. Disponível em: <https://www.capital.sp.gov.br/cidadao/transportes/transporte-publico/estrutura>. Acesso em: 1 nov. 2022.

DALLMANN, Tim. BENEFÍCIOS DE TECNOLOGIAS DE ÔNIBUS EM TERMOS DE EMISSÕES DE POLUENTES DO AR E DO CLIMA EM SÃO PAULO. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Emissions_benefits_bus_sao_paulo_Port_20190201.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

DAPPER, Steffani Nikoli; SPOHR, Caroline; ZANINI, Roselaine Ruviano. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3bgQL4DTXtpQFn7nYRQMJz/?lang=pt>. Acesso em: 1 nov. 2022.

DIÁRIO do Transporte. [S. l.], 25 jan. 2020. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/01/25/parabens-sao-paulo-dez-fatos-da-historia-dos-transportes-na-cidade/>. Acesso em: 1 nov. 2022.

EMISSIONES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS LOCAIS. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://emissoes.energiaambiente.org.br/graficos>. Acesso em: 1 nov. 2022.

FERREIRA, Thiago Vasconcellos Barral *et al.* AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ÔNIBUS ELÉTRICO NO BRASIL. EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, [S. l.], p. 1-49, 1 set. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico->

Econ%C3%B4mica%20de%20%C3%94nibus%20El%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

LOVATTO, Antônio Augusto. ÔNIBUS ELÉTRICO:: PRÓXIMO OU DISTANTE?. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://revistaautobus.com.br/?p=7640#:~:text=a%20ser%20ressaltado.-,Da%20forma%20como%20o%20transporte%20p%C3%ABlico%20por%20pneus%20%C3%A9%20organizado,parte%20das%20linhas%20de%20%C3%B4nibus>. Acesso em: 1 nov. 2022.

LUZ, Gregorio; ALBUQUERQUE, Genezio. Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gregorio-Luz/publication/334772996_Mobilidade_eletrica_o_onibus_eletrico_aplicado_ao_transporte_publico_no_Brasil/links/5d408f4fa6fdcc370a6ef3cd/Mobilidade-eletrica-o-onibus-eletrico-aplicado-ao-transporte-publico-no-Brasil.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

MATIAS, Pedro Telo de Castro. Avaliação da transição para uma frota elétrica: O caso de estudo da Empresa Schindler. 2019. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente (MESTRE) - UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, [S. l.], 2019. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/92939/1/Matias_2019.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

MERCEDES-BENZ (Brasil). BUS CLUB. A história do ônibus: como tudo começou. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://busclub.com.br/posts/curiosidades/2019/10/22/a-historia-do-onibus-como-tudo-comecou-100918>. Acesso em: 1 nov. 2022.

MERCEDES-BENZ (Brasil). BUS CLUB. Primeiro ônibus motorizado foi inventado há 120 anos. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://busclub.com.br/posts/noticias/2015/05/20/primeiro-onibus-motorizado-foi-inventado-ha-120-anos-100574>. Acesso em: 1 nov. 2022.

MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA: UMA BREVE HISTÓRIA. [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>. Acesso em: 1 nov. 2022.

OLIVEIRA, Carla Montefusco de. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: uma discussão ambiental e social. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: http://www.joinpp.ufma.br/jornadas/joinppIII/html/Trabalhos/EixoTematicoI/b181e2fe3f9b7a09d90e_Carla%20Montefusco%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 1 nov. 2022.

POPULAÇÃO aprova teste com ônibus elétrico em São José. [S. l.], 21 out. 2022. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2022/outubro/21/populacao-aprova-teste-com-onibus-eletrico-em-sao-jose/#:~:text=Sem%20emiss%C3%A3o%20de%20CO2%20e,assentos%20confort%C3%A1veis%20e%20corredores%20largos>. Acesso em: 1 nov. 2022.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: uma perspectiva econômico-ecológica. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/F9XDcdCSWRS9Xr7SpknNJPv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 nov. 2022.

SIMÃO, João Miguel. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: conceitos. [S. l.: s. n.], 2017.

