

## Artigo Técnico

# Implantação de ônibus com maior eficiência energética como evolução para o transporte público na cidade de São Paulo

*Implementation of buses with greater  
energy efficiency as an evolution for  
public transport in the city of São Paulo*

Renato de França<sup>a</sup>, Agenor de Toledo Fleury<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

<sup>b</sup> Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais

\*e-mail: refranca@ipt.br

Palavras-chave: ônibus; híbrido; emissão, motores diesel, motores a etanol, biocombustíveis

*Keywords: bus; hybrid; emission, diesel engines, ethanol engines, biofuels*

## Resumo

Nas últimas décadas, houve um aumento significativo da emissão de gases na atmosfera terrestre, intensificando consideravelmente o efeito estufa. A alta concentração desses gases é consequência principalmente das diversas atividades industriais realizadas, em especial por meio da queima de combustíveis fósseis. O setor de transporte público urbano terrestre atualmente utiliza, predominantemente, óleo diesel como combustível, sendo considerado como um dos maiores responsáveis pela poluição por emissão de gases como o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, enxofre, aldeídos e os materiais particulados nas grandes cidades. Nesse contexto, torna-se necessário modernizar os sistemas de transporte público urbano nas grandes cidades, impulsionando melhorias no desempenho energético e redução nos níveis de poluentes. Como alternativas existem a disposição tecnologias como ônibus movidos a etanol, elétricos e os híbridos. Neste artigo científico, propõe-se apresentar as principais diferenças entre ônibus menos poluente em relação à frota predominante atual, com informações para a tomada de decisão em relação às melhores alternativas, visando à substituição ou adaptação de ônibus movidos exclusivamente a óleo diesel por tecnologias limpas na cidade de São Paulo.

## Abstract

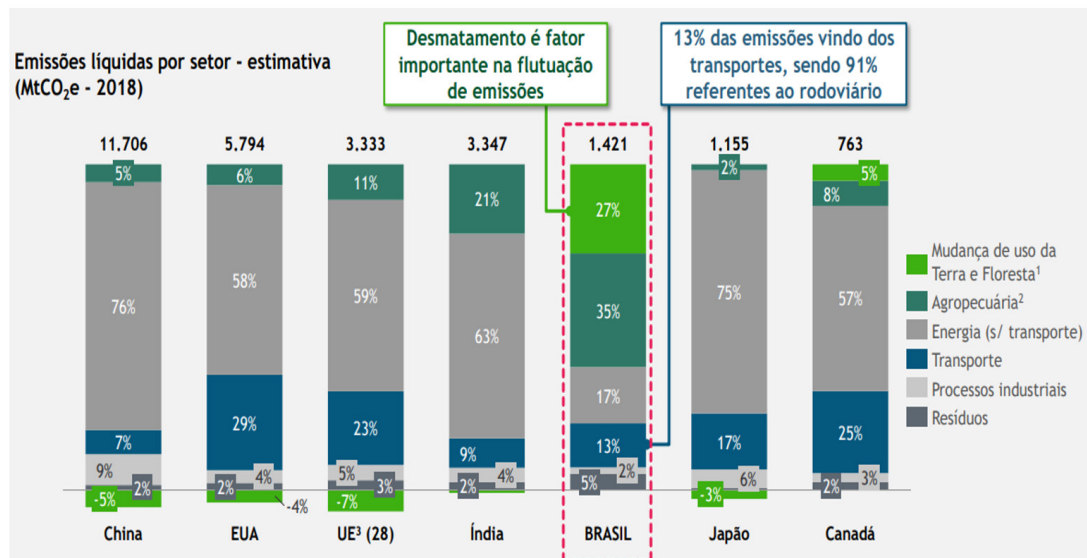
*In the last decades, there has been a significant increase in the emission of gases in the Earth's atmosphere, considerably intensifying the greenhouse effect. The high concentration of these gases is mainly a consequence of the various industrial activities carried out, especially through the burning of fossil fuels. The urban terrestrial public transport sector currently uses predominantly diesel oil as fuel, which is why it is considered one of the biggest responsible for pollution by emission of gases such as carbon monoxide, nitrogen oxides, sulfur, aldehydes and particulate materials in large cities. . In this context, it is necessary to modernize urban public transport systems in large cities, boosting energy performance and reducing pollutant levels. As alternatives, technologies such as ethanol, electric and hybrid buses are available. In this scientific article, it is proposed to present the main differences between less polluting buses with information for decision making in relation to the best alternatives, aiming at the replacement or adaptation of buses powered exclusively by diesel oil by clean technologies in the city of São Paulo.*

## 1 Introdução

A partir do século passado, houve um aumento progressivo da emissão de gases poluentes para atmosfera, principalmente em consequência da revolução industrial, com isso, contribuindo consideravelmente para o efeito estufa atual. O acúmulo desses gases está diretamente relacionado ao desmatamento e às diversas atividades industriais, assim como a queima direta de combustíveis fósseis. Como exemplo temos os veículos automotivos, que contribuem consideravelmente com o aumento da poluição do ar, através da queima de combustíveis renováveis (etanol e biogás) e não renováveis como gás natural, gasolina e principalmente o óleo diesel. Lembrando que tanto etanol e biogás, como o gás natural, emitem consideravelmente menos poluição.

O setor de transporte público automotivo utiliza predominantemente o óleo diesel como fonte de energia nos ônibus, para o transporte público de passageiros, estando entre os grandes responsáveis pela intensificação na emissão de gases, como o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, enxofre, aldeídos e os materiais particulados. Apenas no ano de 2021 foram produzidos 14.060 ônibus no Brasil (ANFAVEA, 2022). Considerando a frota no transporte público apenas na cidade de São Paulo e região metropolitana são mais de 15.000 ônibus circulando diariamente.

Figura 1 - Emissões de CO<sup>2</sup> e participação do setor de transporte



Fonte: ANFAVEA, 2021

A **FIGURA 1** demonstra que o setor de transporte é responsável por 13% das emissões de CO<sup>2</sup> no Brasil, desse percentual 91% apenas em consequência do uso de combustíveis fósseis no transporte público rodoviário.

Este artigo apresenta os benefícios da implantação de ônibus com maior eficiência energética, por meio da inserção de ônibus movidos a etanol, puramente elétricos e/ou híbridos, em substituição aos ônibus tradicionais à combustão interna movidos a diesel.

Ônibus movidos a etanol, elétricos e híbridos se tornaram realidade em muitos países, inclusive no Brasil. Apesar de ainda contar com poucos modelos disponíveis no mercado, especialmente quando se fala em propulsão a etanol e híbrido. No que diz respeito aos ônibus elétricos, a infraestrutura é insuficiente para alimentação assim como os pontos de recarga. Mesmo assim o Brasil dispõe de um grande potencial para que esse cenário possa mudar rapidamente.

## 2 Características do transporte público urbano em São Paulo

O município de São Paulo corresponde ao núcleo central da região metropolitana, com 12.396.372 habitantes e 58,4% de toda região metropolitana (IBGE, 2021). Com área de 1.509 km<sup>2</sup>, é o maior centro econômico, financeiro e cultural do país, acolhendo sede de 60% das empresas multinacionais instaladas no Brasil.

O sistema de transporte público urbano transportou um total de 208 milhões de passageiros, sendo 117 milhões pelo subsistema estrutural e 91 milhões pelo subsistema local, apenas no mês de junho de 2019 (SPTrans, 2022).

### 2.1 Subsistema estrutural

Representa a macro acessibilidade do município integrando as diversas regiões da cidade. O serviço de transporte coletivo é organizado em torno de uma malha de ligações de natureza estrutural, com o objetivo de integrar a região urbana, unindo as diversas regiões entre si, ao centro e aos sub-centros regionais.

Além de ser elemento fundamental para a organização e racionalização do serviço de transporte, a malha de ligações estruturais agrega visibilidade e identidade ao sistema, transformando a circulação por meios coletivos na cidade mais simples para a população (SPTrans, 2022).

## 2.2 Subsistema local

É a regionalização dos deslocamentos na cidade, complementando as malhas de ligações estruturais, oferecendo menores percursos a pé e maior segurança para os usuários.

Visando privilegiar e agilizar o transporte público coletivo, São Paulo conta com 500 km de faixas exclusivas e 131,2 km de corredores exclusivos para ônibus. Os dados são da SPTrans, empresa que opera o sistema de transporte de ônibus na cidade.

- Faixa exclusiva de ônibus

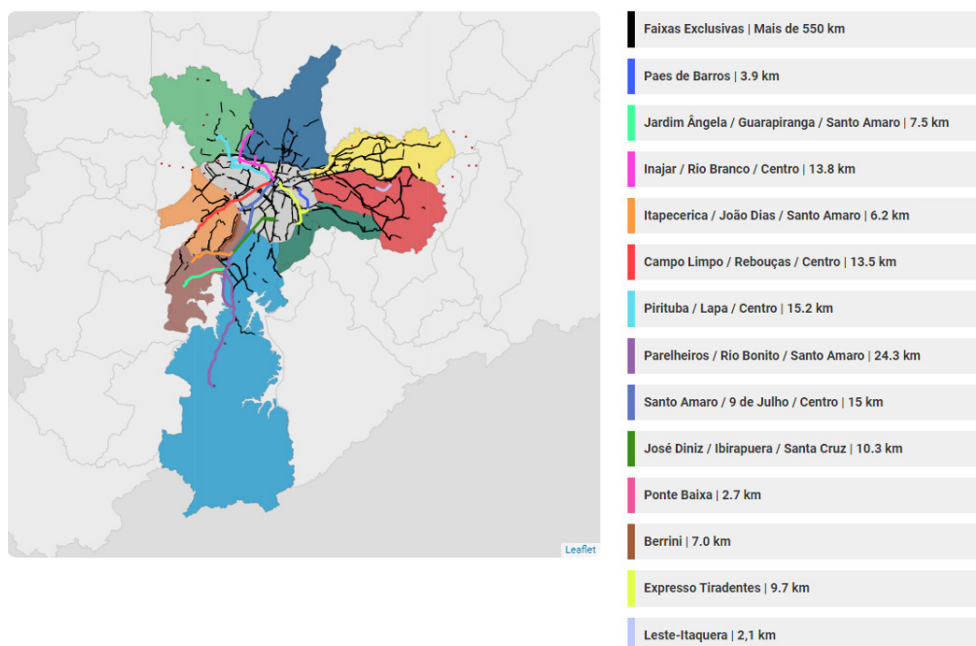
Fica à direita ou à esquerda da pista de uma avenida ou rua. Durante seu funcionamento, que muda de acordo com o local, fica proibida a circulação de carros, inclusive de táxis.

- Corredor de ônibus

Fica à esquerda da pista e possui paradas maiores. Táxis podem circular em qualquer dia e horário desde que estejam com passageiro.

A velocidade média dos veículos do sistema de transporte público urbano, em todos os corredores e nas faixas exclusivas, é monitorada e divulgada mensalmente, por meio dos relatórios informativos. Em agosto/2022 a velocidade média foi de 21,0 km/h e 22,0 km/h nas direções bairro/centro e centro/bairro respectivamente (SPTrans, 2022). As velocidades desenvolvidas pelos ônibus nos corredores são baixas, o que indica que as utilizações de ônibus elétricos e híbridos podem ser viáveis como solução para transporte público menos poluente.

Figura 2 - Corredores e Faixas Exclusivas



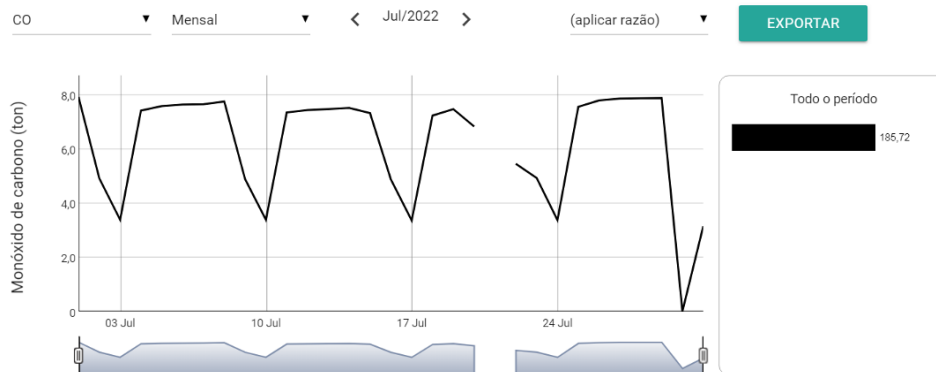
Fonte: SPTrans, 2022

A **FIGURA 2** apresenta o mapa com parte da região metropolitana de São Paulo e sua malha de corredores, faixas exclusivas de ônibus e suas principais linhas.

O Instituto de Energia e Meio Ambiente possui uma ferramenta chamada Monitor, que faz o monitoramento e estimativa das emissões de gases dos ônibus que compõem o sistema de transporte público do município de São Paulo. A ferramenta utiliza dados de GPS transmitidos por dispositivos instalados em todos os ônibus paulistanos; em 2019 contava com mais de 14 mil, constituindo uma das maiores frotas de transporte público do mundo. O Monitor busca indicar se as emissões de todos esses ônibus estão diminuindo em um ritmo constante alinhados as metas estipuladas na Política de Mudança do Clima do município de São Paulo. Além disso, é possível acompanhar a evolução de indicadores de qualidade e uso do serviço prestado como velocidade média, frota total de veículos, oferta de lugares, número de passageiros transportados e consumo de combustível (IEMA, 2022).

A **FIGURA 3** mostra o gráfico da ferramenta Monitor, com o índice de monóxido de carbono (CO), emitido pelos ônibus que circularam na cidade de São Paulo no mês de julho/2022.

**Figura 3 – Monóxido de carbono**



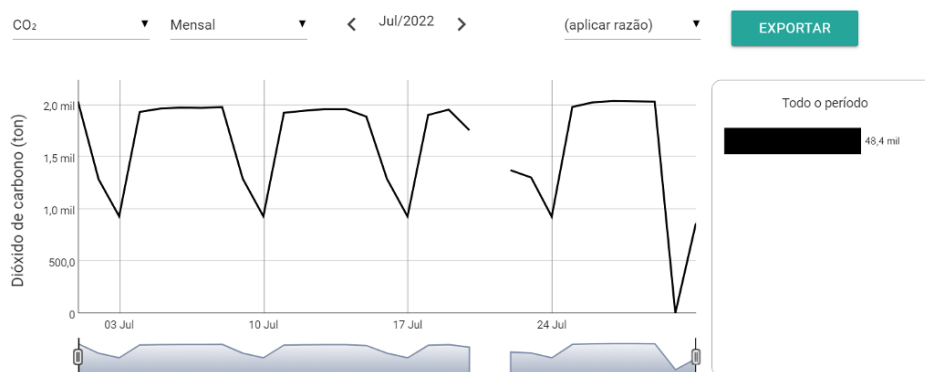
Fonte: IEMA, 2022

Com a circulação dos ônibus na cidade de São Paulo, apenas no mês de julho/2022, foram emitidas 185,72 toneladas de monóxido de carbono para atmosfera, conforme apresentado na **FIGURA 3**.

O monóxido de carbono é um gás indolor e muito perigoso devido a sua grande toxicidade. Intoxicações agudas podem ser fatais (CETESB,2022).

Na **FIGURA 4** pode ser visto o gráfico da ferramenta Monitor, com o índice de dióxido de carbono emitido pelos ônibus que circularam na cidade de São Paulo para o mês de julho/2022.

**Figura 4 – Dióxido de carbono**

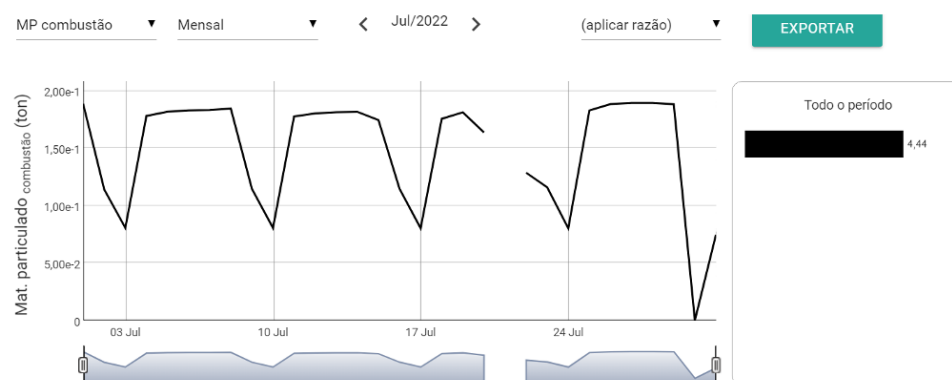


Fonte: IEMA, 2022

Em julho/2022 foram emitidas 48,4 toneladas de dióxido de carbono, como pode ser visto na **FIGURA 4**. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que também é conhecido como gás carbônico, é um composto químico gasoso que em grande concentração provoca disfunções ao planeta através do aquecimento global aumentando o efeito estufa.

A quantidade de materiais particulados emitidos no mês de julho/2022 pode ser vista na **FIGURA 5**.

**Figura 5 – Material particulado**

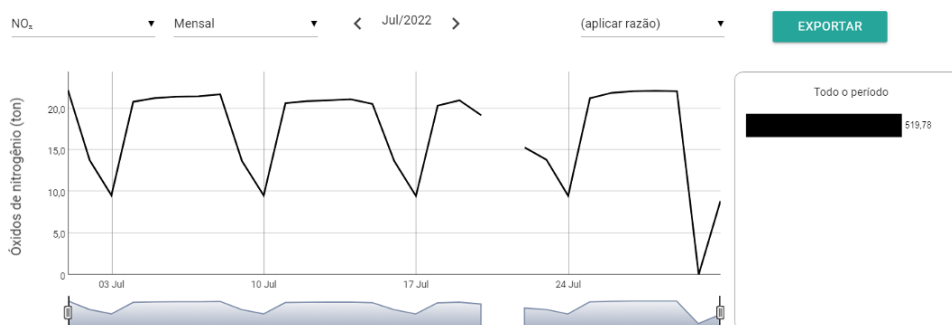


Fonte: IEMA, 2022

Conforme apresentado na **FIGURA 5**, no mês de julho/2022 foram emitidas 4,44 toneladas de material particulado para atmosfera terrestre pelos ônibus na cidade de São Paulo. Materiais particulados são partículas muito finas de sólidos ou líquidos suspensos no ar. Para ser considerado PM, suas dimensões variam desde 20 µm até menos de 0,05 µm.

A **FIGURA 6** mostra a quantidade de Óxidos de nitrogênio NO<sub>x</sub> emitidos na cidade de São Paulo em decorrência do uso de óleo diesel nos ônibus utilizados para transporte público.

**Figura 6 – Óxidos de nitrogênio**



Fonte: IEMA, 2022

Na **FIGURA 6** é possível constatar que no mês de julho/2022, foram emitidas 519,78 toneladas de óxido de nitrogênio. O óxido de nitrogênio é um poluente primário e um dos responsáveis pela formação das chuvas ácidas, e redução da camada de ozônio (REVISTA IPT, 2021).

O Artigo 50 da Lei sobre a Política de Mudança do Clima de São Paulo determina a redução gradual de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP), gerados pelos ônibus da capital paulista. Através da lei, almeja-se que as emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e MP da frota paulistana em 2027 atinjam uma redução em percentual de 50%, 80% e 90% respectivamente comparado aos índices emitidos no ano de 2016. Já os valores do ano de 2037 devem totalizar um decréscimo de 100% nas emissões de CO<sub>2</sub> e de 95% nas de NO<sub>x</sub> e MP, também em relação às emissões de 2016. Já os dados das medições de emissões de gases, podem ser consultados por qualquer pessoa a qualquer momento através da página da IEMA em Monitor de Ônibus SP. Espera-se que as informações trazidas pela ferramenta possam gerar debates e ações em direção ao aprimoramento do sistema de transporte por ônibus em São Paulo (IEMA,2022), que apesar de se tratar de um sistema de transporte público que atende à demanda da sociedade, precisa ser revisado a fim de implementar soluções com maior eficiência energética e que minimize os efeitos negativos com a queima de combustíveis fósseis.

### 3 Técnicas para utilização de etanol em motores diesel

O setor sucroalcooleiro Brasileiro é altamente estruturado e consolidado, tanto no que tange a produção quanto a distribuição. Isso credencia o etanol como uma alternativa de grande potencial para substituição na utilização de combustíveis fósseis, especialmente em ônibus do transporte público urbano, trocando o óleo diesel por etanol.

Como o etanol é constituído por moléculas polares e o óleo diesel por moléculas apolares, eles não se misturam com porcentagem maior que 3% de etanol. Portanto, torna-se necessária a utilização de substâncias que ocasionem a homogeneização necessária dos combustíveis, os chamados cossolventes que são substâncias de moléculas longas e que possuem afinidades químicas com compostos polares e apolares (PAUFERRO, 2012).

O abastecimento de motores diesel unicamente com etanol requer o uso de recuperadores de lubrificidade e aumento do número de cetano.

O número de cetano é uma propriedade importante do combustível para motores de ignição espontânea. É uma característica físico-química associada ao intervalo de tempo entre a injeção do combustível e sua ignição, quando exposta às condições de temperatura e pressão que ocorre na câmara de combustão.

Esse intervalo de tempo, ou seja, o atraso de ignição deve ser curto para que se garanta que a combustão ocorra de forma eficiente termicamente.

Os valores típicos do número de cetano para óleo diesel estão na faixa entre 40 e 55, considerando os parâmetros das câmaras de combustão dos motores diesel, enquanto o etanol tem número de cetano entre 5 e 15, o que provoca atrasos consideráveis na ignição em motores diesel. Para melhorar essa propriedade, são integrados aditivos.

Também é necessária a utilização de redutores de corrosão, para combater a ação do etanol sobre os componentes metálicos com os quais ocorre o contato. A corrosão ocorre principalmente por presença de cloretos, acetatos e água presentes no etanol hidratado.

O uso exclusivo de etanol reduz drasticamente a produção de poluentes na forma de material particulado, mas, como fator negativo, ocorre um significativo aumento de produção de aldeídos.

Os aditivos que aumentam o número de cetano geralmente são compostos nitrogenados, e aumentadores de lubrificidade, que normalmente são ésteres de cadeias longas ou policíclicos aromáticos, e podem ocasionar as produções de óxidos de nitrogênio e de hidrocarbonetos carcinogênicos.

Um projeto de inovação tecnológica permitiu o desenvolvimento de um aditivo nacional para o uso do etanol em veículos com motores a diesel, o Ultrafluid Eco. É um aditivo capaz de alterar as propriedades de ignição e lubrificidade do etanol, tornando possível usá-lo em motores sem causar danos a veículos de grande porte. O produto soluciona questões críticas do uso do etanol nesses motores, como a baixa lubrificidade, o ressecamento dos bicos injetores, o desgaste de peças e falhas do motor, aumentando sua vida útil (TN, 2022).

Ao longo do tempo, os motores com tecnologia ciclo diesel movidos a etanol aditivado foram aperfeiçoados com o desenvolvimento tecnológico, e atualmente apresentam alta confiabilidade, além de baixos níveis de emissões de poluentes. Os motores ciclo

Diesel movidos a etanol aditivado de terceira geração possuem padrão Euro 5 de emissão, sem qualquer tipo de pós-tratamento dos gases e escape.

Em 1993, a Suécia colocou em prática uma experiência tecnológica que hoje se apresenta como solução óbvia para a questão do transporte urbano e sua relação com o aquecimento global e a sustentabilidade. Trata-se do Projeto BEST - Bio Ethanol Sustainable Transport, ou Etanol para o Transporte Sustentável. Atualmente, são 600 ônibus rodando em várias cidades, principalmente em Estocolmo, motor a diesel que utiliza uma mistura com 95% de etanol e 5% do aditivo especial Sekab.

Segundo a Scania, a adaptação do motor ciclo Diesel ao uso do etanol aditivado não requer mudanças significativas. Entre estas mudanças estão o aumento da taxa de compressão do motor 28:1, enquanto nos motores ciclo Diesel convencionais, a taxa de compressão mais comum é de 18:1; maior capacidade volumétrica dos bicos injetores e a utilização de materiais com maior resistência ao etanol devido à corrosão (LASCALA, 2021).

O etanol possui menor valor energético por unidade de volume se comparado ao diesel, por isso, é necessária maior capacidade volumétrica dos injetores. Isto gera um maior consumo de combustível por quilômetro percorrido, em média 60% maior que o volume de diesel consumido por um motor equivalente para percorrer a mesma distância.

A **TABELA 1** apresenta uma comparação entre os teores de emissões de motor ciclo diesel movido a óleo diesel e o mesmo motor movido a etanol.

**Tabela 1 – Valores adotados para emissões equivalentes – Diesel vs Etanol para veículos pesados**

Combustíveis	Valores adotados para emissões equivalentes em g/km.pass				
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	MP	HC
Diesel	70,4	0,83	0,61	0,04	0,13
Etanol	36	0,99	0,63	0,02	0,15

Fonte: LASCALA, 2011

A **TABELA 2** contém dados que indicam que o motor ciclo diesel movido a etanol aditivado (DC9 E02) é similar ao motor diesel convencional (DC 17 270) movido a óleo diesel. Importante ressaltar que o motor movido a etanol apresenta padrão Euro 5, o que garante uma maior eficiência no quesito emissões de poluentes.

Tabela 2 – Comparação entre o DC9 E02 e DC9 17

FABRICANTE	SCANIA	SCANIA
Motor	DC9 E02 270 Euro 5	DC9 17 270 Euro 4
Combustível	Etanol	Diesel
Volume deslocado	8.9 litros	8.9 litros
Ordem de Disparo	1-2-4-5-3	1-2-4-5-3
Cilindros	5 em linha	5 em linha
Cabeçotes Individuais	5	5
Válvula por cilindro	4	4
Diâmetro x Curso	127 mm x 140 mm	127 mm x 140 mm
Taxa de compressão	28:1	17:1
Controle de injeção	Scania PDE	Scania PDE
Potência máxima a ver/min	198 kW a 1900 rpm	198 kW a 1800 rpm
Torque máximo a rev/min	1200Nm a 1100-400 rpm	1250Nm a 1100-400 rpm
Capacidade do cárter	37 litros	37 litros

Fonte: Adaptado de LASCALA, 2011

## 4 Ônibus elétrico

Dentre os modelos de ônibus puramente elétricos temos os trólebus e os movidos exclusivamente a bateria. Ambas as soluções são consideradas sustentáveis e alternativas para mitigar as emissões de poluentes decorrentes do transporte de passageiros tradicional movido a diesel.

- **TRÓLEBUS** - Foram projetados para contornar as restrições de locomoção dos bondes elétricos da época, pois com os trólebus era possível desviar dos obstáculos na via e o seu custo de implantação era baixo, considerando que já havia infraestrutura elétrica para os bondes. Diferente dos bondes elétricos que rodavam sobre trilhos, os trólebus rodam por meio de pneus de borracha sobre o asfalto. Eles são alimentados através de hastes, chamadas de alavancas localizadas na parte superior da carroceria, as quais ficam parcialmente ou permanentemente conectadas ao fio da rede elétrica do local por onde ele está passando. Ao contrário do funcionamento dos bondes elétricos, que utilizam a energia que chega através de um fio da rede de distribuição e a reconduz pelos trilhos, os trólebus, por meio de suas alavancas, recebem a energia por um fio, e a devolvem por outro, que corre em paralelo, sobre o veículo. No Brasil, os primeiros trólebus apareceram na cidade de São Paulo em 1949.

Figura 7 – Trólebus produzido no Brasil pela empresa Eletra.



Fonte: Eletra, 2019

Mesmo após mais de 7 décadas de operação, atualmente temos 201 trólebus percorrendo as ruas da cidade, segundo a Empresa Ambiental Transportes Urbanos S. A, responsável pela gestão do Serviço de Transporte Coletivo Público de Passageiros. A empresa Eletra produziu os primeiros trólebus no Brasil conforme mostrado na **FIGURA 7**.

Evidentemente que a realidade atual é bem diferente dos anos 40, inclusive com o aumento da criminalidade, diante disso para analisar a viabilidade do uso ou expansão dos trólebus na cidade, torna-se necessário considerar a questão do elevado número de furtos de cabos na cidade de São Paulo. Segundo a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), o furto de cabos elétricos na cidade de São Paulo subiu 47% no primeiro semestre de 2022, em comparação ao mesmo período do ano de 2021. A empresa municipal afirmou que precisou reinstalar 231 quilômetros de fiação elétrica no primeiro semestre de 2022.

- **ÔNIBUS MOVIDO A BATERIA** - Os ônibus elétricos são alimentados por um conjunto de baterias, que são abastecidas através das chamadas EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), que em português significa estação de recarga de veículos elétricos. As estações são equipamentos de alta potência responsáveis por fornecer carga às baterias que alimentarão os ônibus durante seu percurso. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em junho de 2013 a norma ABNT

NBR IEC 61851-1:2013, que rege os “Sistemas de recarga condutiva para veículos elétricos”. Esta norma estabelece o procedimento técnico 49 - Diretrizes para a recarga de veículos elétricos com tensões alternadas normalizadas de até 1.000 V e para tensões contínuas de até 1.500 V. Porém, a dificuldade de carregar um carro elétrico no Brasil vai muito além de encontrar locais adequados para plugar o veículo na tomada. Também é preciso torcer para que a estação conte com os tipos de conectores e plugues compatível para o seu carro. Isso porque não existe até o momento consenso sobre um padrão a ser adotado pelas montadoras de carros elétricos para plugues e conectores, e esse não é um problema exclusivo do Brasil, mas sim do mundo todo. Atualmente, existe ao menos seis tipos de plugues/conectores que estão disponíveis no mercado. Alguns são preferidos pelas montadoras europeias, outros mais utilizados pelas marcas americanas, japonesas ou chinesas. Isso sem falar na Tesla, que criou seu próprio conector, o Tesla Charging.

Em relação aos modelos de ônibus elétricos disponíveis no Brasil, temos o Access da fabricante Volare. Ele é um miniônibus 100% elétrico com produção nacional em parceria com a BYD. Sua autonomia é de 200 quilômetros. A montadora Agrale chegou a desenvolver um ônibus híbrido (diesel-elétrico), mas apenas como protótipo, não possui ônibus elétricos e nem híbridos circulando no país. Já a Scania, que acredita em uma matriz mista de combustíveis alternativos, tem na Europa veículos híbridos e elétricos, mas no Brasil, atualmente, tem apostado em outras alternativas, como ônibus movidos a etanol, operando em São Paulo, e na tecnologia biometano/GNV, com um modelo fazendo demonstrações pelo Brasil.

## 4.1 Baterias

A bateria é uma das principais peças do veículo. É ela que armazena a energia utilizada pelo motor automotivo no momento da partida, além de fornecer energia para os componentes elétricos como os faróis, luzes internas, buzina, rádio, vidros, etc. Isso ocorre mesmo quando o motor não está em funcionamento.

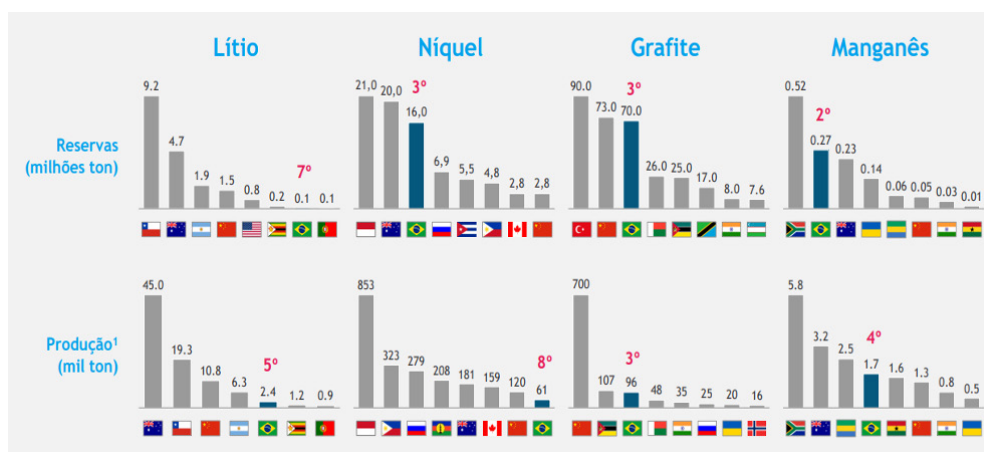
As baterias automotivas são dispositivos capazes de transformar energia química em energia elétrica e vice-versa. Nos veículos, elas armazenam energia sob a forma química e a convertem na forma elétrica para o uso quando necessário. O processo de conversão entre os dois tipos de energia é reversível, o que permite que as baterias sejam recarregadas diversas vezes. A recarga da bateria é feita pelo alternador, que gera energia elétrica por meio da rotação do seu eixo. É importante destacar que o

veículo precisa estar ligado para que o alternador exerça sua função. Quando se fala em veículos híbridos e elétricos a bateria exerce uma função primordial, ela, em geral, é diferente das utilizadas tradicionalmente. Como as baterias passam a ser responsáveis por outras funções, como o próprio funcionamento do motor, demanda uma capacidade de energia cada vez maior.

A expectativa é que até 2027 os carros elétricos sejam mais baratos quando comparados aos motores a combustão que utilizam combustíveis fósseis. Pelo menos é isso que aponta um levantamento feito pela BloombergNEF (New Energy Finance) para o Transport & Environment (T&E). Isso em decorrência ao impulso dado pelas grandes potências mundiais, na corrida pela redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, já colocaram data para o fim da comercialização de carros com motor a combustão com o objetivo de reduzir a emissão de poluentes. A pesquisa mostra que as vans elétricas leves serão mais baratas que as movidas a diesel em 2025, enquanto as mais pesadas só alcançarão esse nível em 2026. A Federação de Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), relata que a queda do preço das baterias será fundamental para o crescimento da produção dos veículos elétricos e que as baterias de íons lítio terão seus menores preços entre 2025 e 2029. A próxima década trará uma grande mudança de comportamento no que se refere aos veículos de transporte particular ou em massa (REVISTA IPT, 2021).

A indústria brasileira de baterias automotivas ainda é concentrada na produção de baterias de chumbo-ácido, embora algumas empresas trabalhem com tecnologias mais modernas como a de níquel e lítio conforme mostrado na **FIGURA 8**, que melhoram o desempenho de seus produtos.

**Figura 8 – Tipos de baterias e reservas de matérias primas disponíveis**



Fonte: Anfavea, 2021

Atualmente apenas duas empresas produzem baterias de lítio no Brasil: a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) e a AMG Brasil. Mas há várias empresas com projetos de mineração em andamento. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), os alvarás de pesquisa publicados, de todos os minérios, saíram de 5.285 em 2020 para 10.098 em 2021.

Já as baterias de níquel, em 2019 o projeto Araguaia recebeu a Licença de Instalação (LI). Em 2020, a produção beneficiada do níquel no Brasil foi da ordem de 77.100 toneladas de níquel. Os projetos da Horizonte Minerals e da Brazilian Nickel serão os próximos a entrar em produção no Brasil.

## 5 Ônibus híbrido

Diferente dos veículos convencionais com motor a combustão interna, o veículo elétrico híbrido ou simplesmente HEV, trata-se de um veículo que tem duas fontes de energia para movimentá-lo. Normalmente são veículos que usam o motor elétrico como uma fonte alternativa de energia, assim conseguem aumentar a potência, melhorar a eficiência e consequentemente a economia de combustível, além da redução na emissão de poluentes. Os veículos híbridos funcionam com um motor de combustão interna. Porém, também são capazes de converter energia em eletricidade, que é estocada em suas baterias até que o motor elétrico seja acionado e entre em funcionamento, tracionando o veículo, economizando a energia requerida pelo motor de combustão interna. Isso se deve a regeneração da energia devido a frenagem, o que ocorre nas descidas e paradas, mostrando ser mais eficiente nos centros urbanos. O motor elétrico é usado quando o motor a combustão interna está com baixa eficiência, isto é, quando está acelerando, subindo ladeira ou em baixa rotação. Alguns tipos de veículos híbridos também são capazes de, numa parada, desligar o motor e assim que o pedal de embreagem é acionado o motor é religado, economizando energia estocada. Diferente dos veículos elétricos, os veículos híbridos não precisam ser conectados a fontes externas de eletricidade, são alimentados através de energia vinda da combustão interna e dos freios regenerativos. A combinação de duas fontes de energia é mais eficiente que o motor de combustão interna ou o motor puramente elétrico. Veículos híbridos podem ser configurados com diversas combinações, agregando o que o motor de combustão interna tem de melhor e o mesmo ocorre com o motor elétrico auxiliar, reduzindo o consumo de combustível sem prejudicar a dirigibilidade e o desempenho (QUEIROZ, 2006). Quando combinamos o motor a etanol híbrido, podemos ter uma relação ideal entre eficiência energética e emissão de poluentes.

## 5.1 Topologias dos carros híbridos

Os carros híbridos são classificados basicamente em três tipos de topologias, híbridos série, híbridos paralelo e híbrido série-paralelo.

- **HÍBRIDO SÉRIE** - Nesse tipo de topologia apenas o motor elétrico é responsável por gerar tração. Já o motor a combustão interna funciona como um extensor de autonomia. O motor a combustão interna é acoplado a um gerador elétrico que fornece eletricidade às baterias e ao sistema de propulsão, composto pelo motor elétrico que traciona o veículo. Quando as baterias estão totalmente carregadas, o veículo opera como um elétrico puro, quando o veículo trabalha abaixo de um determinado estado de carga ou em altas rotações, entra em funcionamento o motor a combustão exercendo a função auxiliar através do gerador e do motor elétrico. Se o motor a combustão gerar potência acima do necessário para o funcionamento do veículo, o excesso é aproveitado para recarregar as baterias.
- **HÍBRIDOS PARALELOS** - Nesse tipo de topologia o motor elétrico e o motor a combustão interna geram tração para mover as rodas do carro. Por isso, pode se dizer que os dois funcionam paralelamente. O motor elétrico trabalha com o gerador responsável por carregar a bateria conforme a necessidade. Geralmente, o motor elétrico é conectado ao eixo dianteiro, e o eixo traseiro é movido pelo motor a combustão interna.

Também é possível configurar para que ambos exerçam tração no mesmo eixo, mas isso torna o sistema mais complexo, pois exige controladores eletrônicos mais sofisticados o que encarece significativamente o sistema.

- **HÍBRIDO SÉRIE-PARALELO** - Considerando as topologias aqui apresentadas, é a que possui a estrutura mais elaborada quando se refere à construção de VHE. Devido ao elevado grau de interação entre os trens de potência, é necessário a utilização de motor gerador, embreagens e transmissões planetárias (EHSANI, *et al*, 2007). Além disso, possui um conjunto eletrônico que avalia constantemente as condições do veículo, e, com isso, ele decide qual é o melhor momento de se usar o motor a combustão ou o motor elétrico.

## 6 Comparativo

Como demonstrado neste artigo, existem diversas tecnologias que podem ser implementadas como solução para o transporte público urbano na cidade de São Paulo. Para comparar as diversas tecnologias disponíveis no mercado, torna-se necessário considerar aspectos fundamentais com desempenho técnico, economia de combustível e níveis de emissões de gases poluentes. A **TABELA 3** apresenta uma avaliação dos benefícios ambientais de cada tipo de tecnologia veicular.

**Tabela 3 - Dados de referência para cálculo de benefícios ambientais**

TECNOLOGIA VEICULAR	EMISSÕES					
	Nox (g/km)	CO (g/km)	HC (g/km)	MP (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	Sox (g/km)
DIESEL	12,31	2,19	0,16	0,30	1461,00	0,00470
ETANOL	5,58	0,00	0,43	0,04	270,00	0
HÍBRIDO	9,76	0,60	0,10	0,03	1386,00	0,00470
TRÓLEBUS	0,00	0,00	0,00	0,00	148,00	0
ELÉTRICO	0,00	0,00	0,00	0,00	82,00	0

Fonte: EMTU, 2014

Uma questão preponderante para análise de viabilidade na implantação de soluções para transporte público urbano com maior eficiência energética é o fator financeiro conforme **TABELA 4**. O investimento para aquisição de ônibus elétricos e híbridos ainda é muito elevado, mas se houver a utilização dessas tecnologias em grande escala, os custos tendem a se tornar mais acessíveis para as empresas.

**Tabela 4 - Valor de aquisição dos veículos para cada tipo de tecnologia**

TECNOLOGIA VEICULAR	R\$
DIESEL	540,000
ETANOL	600,000
HÍBRIDO	700,000
TRÓLEBUS	850,000
ELÉTRICO	2,000,000

Fonte: EMTU, 2014

## 7 Conclusões

De acordo com este artigo é inquestionável a necessidade de modernização do transporte público na cidade de São Paulo. Foram apresentadas algumas alternativas de tecnologias disponíveis no mercado para o transporte público de São Paulo, porém devido ao seu grande porte seria recomendado não apenas uma solução, mas sim, a implantação de uma matriz de soluções contendo os ônibus movidos a etanol, ônibus híbridos e os elétricos. Com isso, torna-se possível a extinção de ônibus movidos a óleo diesel nas ruas.

É possível concluir que o sistema de transporte público urbano da cidade de São Paulo deve, inicialmente, adotar a utilização de ônibus movidos a etanol, ou ônibus híbrido, levando-se sempre em conta a otimização da eficiência energética. Seguindo na mesma linha, tanto o gás natural como o biogás também podem contribuir com a diminuição da poluição e dependência energética em alguns centros urbanos. Em paralelo, será necessário, com políticas públicas adequadas, realizar a modernização e expansão de infraestrutura elétrica para a implantação gradual e migrar para os ônibus elétricos, que serão, senão na totalidade, mas certamente a tecnologia adotada para a maioria das frotas automobilísticas urbanas mundiais de transporte individual e também transporte público, inclusive em São Paulo.

## 8 Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. São Paulo: ANFAVEA, 2021. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/docs/apresentacoes/APRESENTA%c3%87%c3%83O-ANFAVEA-E-BCG.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fixa de informação toxicológica – Monóxido de Carbono**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Monoxido-de-Carbono.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo. **Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares de Tração Aplicáveis a Ônibus Urbanos**. São Paulo. EMTU 2014. Série CADERNO TÉCNICOS. Volume 15. Disponível em: <<https://www.emtu.sp.gov.br/ftp/Caderno%20Tecnico%20-%20Vol%2015.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Cidades e Estados. São Paulo**. IBGE 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>> Acessado em: 11 de agosto de 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Monitor de Ônibus SP**. São Paulo: IEMA, 2022. Disponível em: <<http://energiaeambiente.org.br/onibus-sp>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

LASCALA, T.L. S. **Externalidades da substituição do diesel pelo etanol no transporte público urbano da região metropolitana**. Tese de doutorado – Escola Politécnica/Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PAUFERRO, M. T.O. **Uso do etanol como combustível para motores diesel: Uma discussão sobre a viabilidade**. Monografia MBA – Escola de Engenharia, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

QUEIROZ, J. F. **Introdução do veículo híbrido no Brasil: Evolução tecnológica aliada à qualidade de vida**. Dissertação de (mestrado) - Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

REVISTA IPT. **Oxi-combustão – uma alternativa para a indústria.** São Paulo: Revista IPT/ Tecnologia e Inovação. Edição: v.5, n.17, ago., 2021. Disponível em: <<https://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/138>>. Acesso em: 11 de ago. 2022.

SÃO PAULO TRANSPORTE S/A. **Corredores e Faixas Exclusivas.** São Paulo: SPTrans, 2022. Disponível em: <<https://www.sptrans.com.br/corredores-e-faixas-exclusivas/>>. Acesso em: 09 ago. 2022.

TN Benicio biz editors. **Aditivo químico possibilita uso de etanol em motores a diesel.** Rio de Janeiro: TN, 2022. Disponível em: <<https://tnpetroleo.com.br/noticia/aditivo-quimico-possibilita-uso-de-etanol-em-motores-a-diesel/>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

DOI: 10.29327/2152495.7.22-4

