

Panorama do sistema de transporte público urbano sustentável no Brasil

TAINARA VOLAN

CAROLINE RODRIGUES VAZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

MAURICIO URIONA MALDONADO

Introdução

O setor de transportes tem se mostrado um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável, as emissões representam uma parcela expressiva das emissões de GEE e impactam significativamente na qualidade do ar. Diante disso, torna-se urgente minimizar os impactos ambientais. O setor de transportes é responsável por 60% do consumo de todo o petróleo e seus derivados no mundo e, no Brasil, é causador de 44% das emissões de CO₂. O Brasil pode reduzir de forma substancial as emissões de GEE e garantir o desenvolvimento econômico, ao promover combustíveis e tecnologias veiculares mais limpas.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O transporte público fornece benefícios à sociedade no uso mais eficiente de infraestrutura dos serviços públicos, como o espaço rodoviário, onde todos se beneficiam. No entanto, ainda é um emissor de GEE, uma atuação recomendável é assegurar que esse sistema seja propulsionado por fontes de energia de baixa ou nenhuma emissão de poluentes. Desta forma, busca-se realizar uma análise sobre o panorama atual do sistema de TP urbano sustentável no Brasil, os quais caracterizam os novos projetos que demonstrem as possibilidades de uma transição do modelo atual poluente para um não poluente.

Fundamentação Teórica

A tipologia dos ônibus de baixa-emissão classifica-se em cinco categorias: com combustíveis fósseis de baixa-emissão; biocombustíveis; híbridos; elétricos; Ônibus com células de combustível a hidrogênio. Uma das opções possíveis é a eletrificação dos veículos, o que aumenta a eficiência geral da frota. Como resultado, menos energia é consumida para fornecer a mesma quantidade de quilômetro percorrido. Se a eletricidade que alimenta os veículos é gerada a partir de fontes de energia renováveis, suas emissões do poço à roda podem ser ainda menores.

Metodologia

Utilizou-se os portais de conteúdo científico e repositórios de universidades brasileiras. Do mesmo modo, fez-se uso de consultas a livros e artigos publicados em anais de eventos com referências ao tema estudado, além de relatórios informativos e estatísticas disponibilizados por associações nacionais e internacionais, além de consulta à órgãos governamentais. Utilizou o procedimento de “bola de neve” para identificar materiais relevantes para a fundamentação teórica, bem como para os resultados, além de conter escopos mais amplos de busca, tanto em termos de fontes como de critérios.

Análise dos Resultados

São Paulo destaca-se na implantação de projetos-piloto para a integração de ônibus de baixa emissão na frota. Além disso, merece destaque as Leis 14.933 e 16.802, as quais estabelecem reduções progressivas do uso de combustível fóssil para as frotas municipais. Destaca-se a ausência de políticas nacionais de estímulo à mobilidade de baixo-carbono que priorize a implementação de veículos de baixas-emissões. Também há ausência de metas e estratégias de curto, médio e longo prazo para promover a transição para o transporte público de baixa-emissão.

Conclusão

O TP está apesar dos benefícios ainda emite poluentes, devido a isso, associar tecnologias limpas se faz necessário. O Brasil apresenta algumas iniciativas, principalmente concentradas no Sudeste (São Paulo), de inclusão de ônibus elétricos na frota do TP, iniciativa essa apoiada por uma lei que busca a redução de gases poluentes. Essa iniciativa começa a ser considerada em editais de outras cidades brasileiras, de forma que haja um “empurrão” para o uso de tecnologia limpa.

Referências Bibliográficas

BARASSA, E. et al. Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono. Documentos de Projetos (LC/TS.2022/9) Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2022. BARASSA, E.; CRUZ, R. F.; MORAES, H. B. 1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica – Panorama de veículos elétricos brasileiros 2020. 2021. PNME – Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica, 2022. BERMUDEZ, T. R. Transiciones Socio - Técnicas hacia una Movilidad de Bajo Carbono: Un análisis del Nicho de los Buses de Baja Emisión para el Caso de Brasil, 2018.

Palavras Chave

descarbonização, ônibus elétrico, sustentabilidade

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem o apoio financeiro da Capes e CNPq.

PANORAMA DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes tem se mostrado um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável (MATHIESEN et al., 2015), as emissões deste setor, além de representarem uma parcela expressiva das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE), impactam significativamente na qualidade do ar. Diante disso, considerando a importância do setor de transportes para o desenvolvimento das cidades e a tendência de crescimento da população urbana, torna-se urgente minimizar os impactos ambientais (MACHADO, 2022).

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2021), o setor de transportes é responsável por 60% do consumo de todo o petróleo e seus derivados no mundo e, no Brasil, é causador de 44% das emissões de dióxido de carbono (CO₂). No entanto, o Brasil, que já é majoritariamente urbano, pode reduzir de forma substancial as emissões de GEE e – ao mesmo tempo – garantir o desenvolvimento econômico, ao promover combustíveis e tecnologias veiculares mais limpas, incentivar edificações energeticamente mais eficientes, qualificar os sistemas de transporte coletivo, readequar os espaços urbanos para as pessoas, e adotar um modelo de cidade conectada, compacta e coordenada (MACHADO, 2022).

Existem quatro estratégias elementares para promover padrões sustentáveis de mobilidade, levando à “mobilidade de baixo carbono”, são elas: reduzir necessidade de viajar; incentivar a transferência modal (medidas de políticas de transportes); reduzir as distâncias de viagens (medidas de políticas de uso do solo); e incentivar maior eficiência no sistema de transportes (através de inovações tecnológicas, por exemplo) (BANISTER, 2008).

Percebe-se que essas estratégias se conectam ao conjunto de políticas públicas de deslocamentos de pessoas e bens que promovam o uso de meios de transporte que não comprometam o meio ambiente, evitem a degradação da área urbana e não prejudiquem a eficiência do transporte (BIAGUE, 2011).

Desse modo, o transporte público (TP) fornece benefícios à sociedade que os transportes particulares não propiciam, particularmente, no uso mais eficiente de infraestrutura dos serviços públicos, como o espaço rodoviário, onde todos se beneficiam e, por ser aberto ao público, serve como opção de *backup* automático para todos os usuários de transporte privado (PAGET-SEEKINS; TIRONI, 2016).

Nesse sentido, duas linhas complementares de atuação são recomendáveis. A primeira é priorizar e qualificar o transporte coletivo, tornando-o mais eficiente e atrativo para a população. A segunda consiste em assegurar que esse sistema seja propulsionado por fontes de energia de baixa ou nenhuma emissão de poluentes. Em face dessa realidade, cidades de todo o mundo estão adotando tecnologias limpas em suas frotas de ônibus urbanos (MOBILIDADE URBANA DE BAIXO CARBONO, 2022). A eletromobilidade é uma nova tendência da mobilidade urbana e vários países já anunciaram prazos para a proibição da venda de veículos movidos a combustíveis fósseis, como: França (2030), Noruega (2030), Holanda (2035) e Reino Unido (2040) (MCHUGH, 2017).

Desta forma, busca-se, com a presente pesquisa, realizar uma análise sobre o panorama atual do sistema de transporte público urbano sustentável no Brasil, os quais

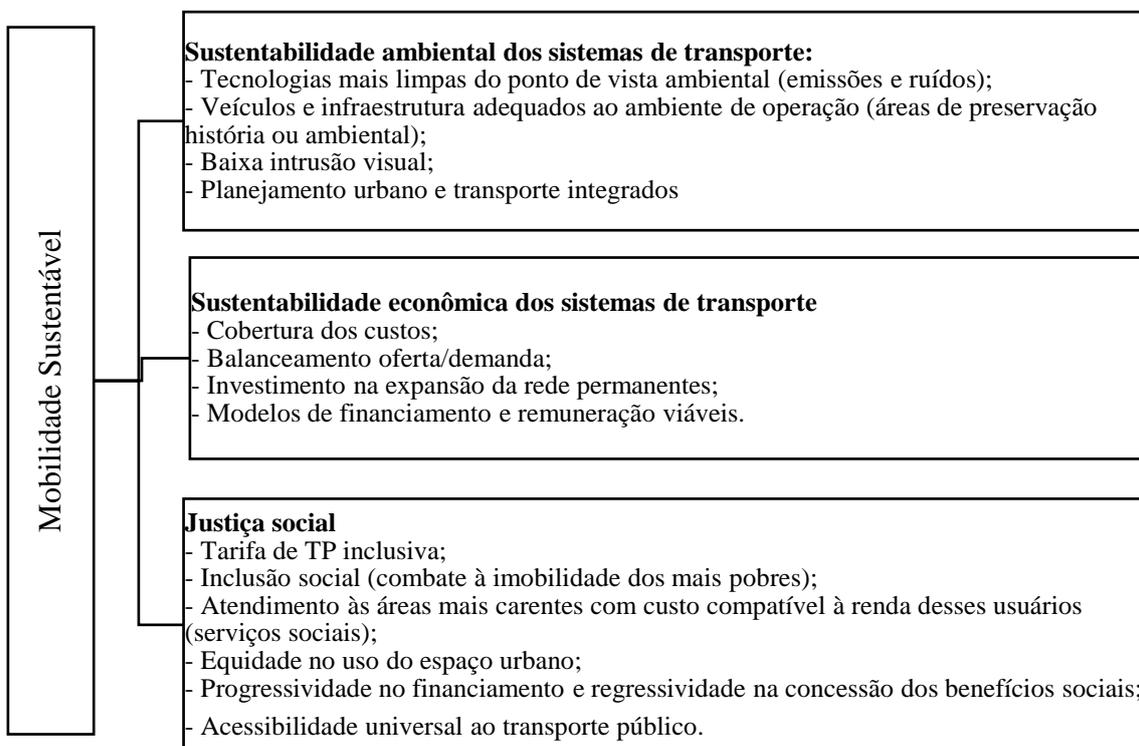
caracterizam a gestão e os novos projetos que demonstrem as possibilidades de uma transição do modelo atual poluente para um não poluente.

Este artigo está estruturado em cinco seções. A seção dois refere-se à fundamentação teórica, focada em mobilidade urbana sustentável e a relação com o setor de transporte público. A seção três apresenta a metodologia utilizada para a realização do estudo. Já na seção quatro os resultados e a discussão são feitos. Por fim, a seção cinco apresenta as considerações finais e as sugestões para pesquisas futuras.

2. MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL E O SETOR DE TRANSPORTE PÚBLICO

De acordo com Carvalho (2016), o sistema de mobilidade pode ser apresentado nas três dimensões do desenvolvimento sustentável – econômica, social e ambiental. Na Figura 1, apresentam-se as dimensões para o campo da mobilidade urbana, onde inclui a proteção ambiental, sustentabilidade econômica e a justiça social.

Figura 1 – Dimensões da mobilidade urbana sustentável



Fonte: Adaptado de Carvalho (2016, p. 17)

Trazendo essas dimensões para o campo da mobilidade urbana, podem-se delinear os pressupostos básicos de uma mobilidade urbana sustentável, nos quais a proteção ambiental, a sustentabilidade econômica e a justiça social se tornam condicionantes importantes no processo de planejamento (CARVALHO, 2016).

De acordo com Cerveró, Guerra e Al (2017), no setor de transporte urbano, a sustentabilidade pode ser vista da mesma forma em termos além de gerações, satisfazendo as necessidades atuais de mobilidade das cidades sem comprometer a capacidade das gerações futuras de adequar-se à ecologia e ao ambiente natural, incluindo dimensões

econômicas, sociais e institucionais. Ainda se argumenta que muitos dos problemas ambientais no setor de transporte urbano, como poluição do ar e emissões de GEE, estão enraizados em seu setor de transporte, e combustíveis alternativos, como biomassa e veículos elétricos, podem ser agentes redutores da dependência de petróleo (CERVERÓ, GUERRA E AL, 2017).

Conforme Bezruchonak (2019), o TP é considerado um componente integral do cotidiano urbano na rotina logística, que atende às necessidades crescentes dos cidadãos, tanto na área privada quanto na empresarial, em que, nas últimas décadas, a parcela da população urbana global aumentou significativamente, afetando fortemente a forma como as pessoas movem-se dentro e além dos limites da cidade.

Entre os sistemas dedicados ao TP, encontram-se peruas, ônibus comuns e elétricos, metrô pesado, trens suburbanos e modalidades de média capacidade de transporte denominadas *Bus Rapid Transit* (BRT), metrô leve, *Personal Rapid Transit* (PRT), Veículo Leve Sobre Pneus (VLP) ou *Guided Light Transit* (GLT) e Veículos Leves sobre Trilhos (VLT). O mesmo autor classifica os diferentes sistemas disponíveis por tipo de uso, pela segregação dos diferentes modais na infraestrutura de rolamento, pela tecnologia empregada e pelos tipos de serviços oferecidos. Por tipo de uso, classifica em privados, alugados e públicos (PEDROSO, 2017).

Sobre o TP de ônibus, os autores Corazza et al. (2016) citam que as novas gerações de ônibus podem ser um modo apropriado para atender às necessidades nos campos das salvaguardas ambientais (em termos de energia, eficiência, emissões e ocupação do espaço) e da eficácia operacional, pois podem ser mais facilmente adaptados aos diferentes requisitos dos passageiros e não requerem infraestruturas pesadas. Também vale lembrar que os ônibus são modos de transporte de passageiros altamente eficientes, com baixos níveis de consumo de combustível, mesmo com níveis modestos de ocupação, contribuindo assim para a redução de CO₂ e outras emissões de GEE. Além disso, ressaltam que a segurança é mais um ponto forte para os ônibus, pois as taxas de acidentes relacionadas são muito baixas se comparadas a outros modos de transporte de passageiros (CORAZZA et al., 2016).

Sumariamente, um sistema de transporte sustentável é aquele que (ECMT, 2004):

- Permite que os indivíduos, as empresas e as sociedades tenham satisfeitas as necessidades básicas de mobilidade de modo a preservar a saúde humana e do ecossistema, e promover a equidade dentro de uma geração e entre gerações sucessivas;
- É acessível financeiramente, eficiente, oferece uma escolha do modo de transporte, e apoia uma economia competitiva, assim como o desenvolvimento regional equilibrado, e;
- Limita as emissões e perdas à possibilidade do planeta de absorvê-los, usa recursos renováveis iguais ou inferiores às suas taxas de produção, e usa recursos não renováveis iguais ou inferiores às taxas de desenvolvimento de substitutos renováveis, enquanto minimiza o impacto no uso do solo e geração de ruído.

A tipologia dos ônibus de baixa-emissão classifica-se em cinco categorias principais de acordo com os combustíveis que utilizam e seus sistemas de tração (BERMÚDEZ, 2018):

- **Ônibus com combustíveis fósseis de baixa-emissão:** são ônibus com motor a combustão interna (MCI) mas com tecnologias de motor Euro VI que atendem as metas máximas de emissão definidas pelas Normas Euro. Nesta categoria também se classificam os ônibus movidos a Gás Natural Veicular (GNV) os quais precisam de uma infraestrutura especial de abastecimento.

- **Ônibus movidos com biocombustíveis:** são ônibus com MCI, mas que utilizam combustíveis alternativos como biodiesel, biometano e diesel de cana de açúcar. As emissões de poluentes dependem de cada tipo e da mistura dos biocombustíveis, mas em comparação aos ônibus a diesel, suas emissões são menores.
- **Ônibus Híbridos (*Hybrid Electric Bus* HEB):** nesta categoria estão os ônibus convencionais que misturam um MCI (a diesel) com um motor elétrico. Os ônibus híbridos têm autonomia reduzida ou nula no modo elétrico. A função das baterias é apoiar o MCI nos momentos de maior demanda de potência (aceleração) e nos momentos de menor rendimento do motor. Os ônibus híbridos podem ter três configurações diferentes: paralelo, série ou série-paralelo. Nesta categoria também se encontram os ônibus elétricos plug-in (*Plug-In Hybrid Buses* PHEB) e os ônibus híbridos elétricos a etanol, que é considerada uma das alternativas para o mercado brasileiro dada a relevância nacional dos biocombustíveis.
- **Ônibus elétricos:** nesta categoria estão os ônibus elétricos a bateria (*Battery Electric Bus*), também denominados como ônibus elétricos puros, porque utilizam um conjunto de baterias para se movimentar. Os trólebus também são considerados ônibus elétricos, mas a principal diferença é que utilizam um sistema de catenárias conectadas à rede aérea para abastecer-se de energia.
- **Ônibus com células de combustível a hidrogênio (*Fuel Cell Electric Bus*):** estes ônibus utilizam hidrogênio para produzir eletricidade numa célula a combustível. A eletricidade gerada é utilizada tanto para a propulsão, como para ser armazenada ao interior do ônibus por meio de baterias ou ultra condensadores. Esses ônibus precisam de uma infraestrutura especial para seu abastecimento. As células a combustível são muito eficientes e menos poluentes, mas seu custo ainda é elevado e não tem produção em escala.

No Brasil, já há o estabelecimento de biocombustíveis em diversos mercados. O seu consumo não exige alteração significativa das tecnologias veiculares utilizadas hoje (ICE). Os biocombustíveis podem ser misturados a combustíveis fósseis comuns ou usados como misturas superiores em veículos flex-fuel (IEA, 2020). A expansão do uso do biocombustível, no entanto, deve ser acompanhada de regulamentação e certificação para que seja garantido que seja produzido com eficiência a partir de uma fonte sustentável que sequestrou carbono durante o crescimento das culturas.

Por outro lado, a eletrificação dos veículos aumenta a eficiência geral da frota de veículos porque os motores elétricos são muito mais eficientes que ICEs (GARCÍA-OLIVARES et al., 2018). Como resultado, menos energia é consumida para fornecer a mesma quantidade de quilômetro percorrido. Se a eletricidade que alimenta os veículos elétricos é gerada a partir de fontes de energia renováveis, suas emissões do poço à roda (associadas à produção, processamento, distribuição e uso de combustível) podem ser ainda menores.

Para o cenário brasileiro, Lima, Silva e Albuquerque Neto (2019) destacam que a eletrificação dos veículos rodoviários surge como uma opção relevante para superar o problema da poluição atmosférica, uma vez que o setor de transportes é um dos maiores responsáveis por emissões de CO₂ no Brasil, e a proporção de viagens por modalidades que se utilizam da queima de combustíveis fósseis é bastante elevada.

Além de reduzir as emissões de poluentes de TP, substituindo ônibus a diesel por ônibus elétricos, a alteração tem vantagens imediatas (ruído reduzido no ambiente, aumento da confiança local/ nacional/internacional e visibilidade das áreas que adotam uma solução tão moderna etc.), com benefícios de médio a longo prazo (custos operacionais e de manutenção reduzidos devido à confiabilidade dos ônibus elétricos com

base na construção simples do trem de força, e possibilidade de custo das viagens de ônibus diminuído, para que tantos cidadãos quanto possível deixem de usar veículos individuais na cidade, resultando em menos tráfego e em mais redução da poluição). O fato de os preços de compra dos ônibus elétricos ainda serem altos é uma desvantagem, mas programas nacionais/internacionais de financiamento para compra de veículos de energia elétrica limpa poderiam facilitar a aquisição de veículos não poluentes (TOPAL; NAKIR, 2018).

3. METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, utilizou-se os portais de conteúdo científico e repositórios de universidades brasileiras. Do mesmo modo, fez-se uso de consultas a livros e artigos publicados em anais de eventos com referências ao tema estudado. Compreendeu-se também o uso de relatórios informativos e estatísticas disponibilizados por associações nacionais e internacionais, além de consulta à órgãos governamentais.

Utilizou o procedimento de “bola de neve” para identificar materiais relevantes para a fundamentação teórica, bem como para os resultados, além de conter escopos mais amplos de busca, tanto em termos de fontes como de critérios (ARKESEY; O’MALLEY, 2005).

Uma das bases de pesquisa utilizadas foi a Scopus, nessa utilizou-se palavras-chave como: “bus, decarbonization, electric bus, Brazil, public transportation”, sozinhas ou em diferentes combinações. A partir dos resultados encontrados, iniciou-se a leitura de títulos e resumos, a fim de filtrar os artigos que tinham relação com a temática estudada, ou seja, políticas de mobilidade sustentável no TP, tecnologias existentes, simulações e prospecção de cenários de mobilidade limpa, entre outras. Além disso, avaliou-se as referências que estes documentos encontrados utilizavam, a fim de aumentar os resultados encontrados.

Em junção a Scopus, fez-se uso do Google Scholar, neste caso usando as combinações de palavras em língua portuguesa (ônibus, ônibus elétrico, descarbonização, transporte público, dentre outras). Além de documentos científicos, como artigos de anais de congressos, revistas brasileiras, e trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, surgiram também materiais publicados por órgãos brasileiros de promoção de mobilidade elétrica, o qual ganha destaque o PNME (Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica), a plataforma agrega mais de 30 instituições que incluem órgãos governamentais, agências, indústria, academia e sociedade civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados quantitativos sobre ônibus elétrico no Brasil

Segundo dados disponibilizados pela plataforma E-bus Radar (2022) são 351 ônibus elétricos no Brasil, destes 302 são trólebus, 46 são convencionais a bateria (12 – 15m), 2 midi a bateria (8 – 11m) e 1 articulado a bateria (>18m). Eles estão localizados nas cidades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Cidades e número de ônibus elétricos

Cidade	8m (mini)	12m	18+ (articulado)	Trólebus	Total
Bauru		2			2
Brasília		6			6
Campinas		15			15
Maringá	1	2			3
Santos	1			6	7
São Paulo		17		201	218
São Paulo – região metropolitana			1	95	96
Volta Redonda		3			3

Fonte: E-BUS Radar (2022).

Considerando as informações de fabricantes, a Eletra domina com 274 unidades fabricadas, e em segundo lugar a BYD com 48 ônibus (E-BUS RADAR, 2022).

O TP coletivo no Brasil está composto principalmente por quatro modais de transporte: os ônibus urbanos e os trilhos urbanos que incluem o Metro, Trem e os VLT (veículos leves sobre trilhos). Contudo, são poucas cidades no Brasil que têm trilhos urbanos operando como sistema de TP. Das viagens feitas no transporte coletivo, 85,7% são realizadas via ônibus urbanos e o 14,3% restante em trilhos urbanos. Assim, os ônibus urbanos são o modo de TP coletivo mais representativo do Brasil (BARASSA et al., 2022).

A maior frota de ônibus de baixa-emissão corresponde aos trólebus, os quais operam na cidade de São Paulo, no Corredor Metropolitano ABD e na cidade de Santos (SP). Em relação aos ônibus elétricos a baterias, 45 deles estão no segmento de 12 – 15 m, e têm sido montados pela empresa BYD sediada em Campinas (BARASSA et al., 2022).

4.2 Iniciativas de mobilidade elétrica no transporte público no Brasil

A cidade de São Paulo está desenvolvendo um projeto piloto com 18 ônibus elétricos a bateria da empresa chinesa BYD, operados pela empresa Transwolff, sob a coordenação da SPTrans (BARASSA et al., 2022). A empresa criou um sistema de comercialização capaz de baratear o investimento. Os ônibus, que possuem valor unitário de R\$ 1,3 milhão, foram comercializados por R\$ 660 mil cada um (valor dos veículos a diesel), sem a bateria. A BYD, que fornece a bateria importada da China, faz um aluguel do componente em um contrato de 10 anos, no valor mensal de R\$ 8 mil por ônibus, responsabilizando-se pela manutenção e eventual substituição do item, se necessário (ZAPAROLLI, 2019).

A iniciativa de São Paulo com relação ao tema merece destaque. A Lei 14.933, de 2009, instituiu a Política de Mudança do Clima no Município. No tocante aos veículos, o artigo 50 da lei estabelece reduções progressivas do uso de combustível fóssil para as frotas municipais, da ordem de 10% ao ano. A Lei 16.802, de 2018, estabelece metas intermediárias e de longo prazo para a redução da emissão através do escapamento dos

veículos. As diretrizes são progressivas e visam a redução de Dióxido de Carbono (CO₂), Material Particulado (MP) e Óxidos de Nitrogênio (NO_x), de maneira gradativa a partir da vigência da lei, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Metas de redução de emissões de CO₂, MP e NO_x adotadas na Lei 16.802/2018, de São Paulo

Poluente	Redução após 10 anos	Redução após 20 anos
	(01/2028)	(01/2038)
CO ₂ fóssil	50%	100%
MP	90%	95%
NO _x	80%	95%

Fonte: adaptado de ICCT (2019).

Originalmente prevista para 2013, a licitação do sistema só foi lançada em 2018 (SÃO PAULO, 2018). Dessa forma, a aplicação da Lei 16.802 no transporte coletivo se deu por meio da estipulação de metas no edital de licitação. O edital previa que os vencedores entregassem um cronograma de substituição da frota, atendendo a índices anuais de redução de emissão de poluentes. Também estabelecia que a implementação começasse no máximo 12 meses após a assinatura do contrato, com cronogramas submetidos à aprovação do COMFROTA-SP (MOBILIDADE URBANA DE BAIXO CARBONO, 2022).

Em setembro de 2019, a prefeitura assinou os novos contratos e, em novembro, os primeiros 15 ônibus elétricos a bateria foram adquiridos pela empresa Transwolff, uma das operadoras contempladas na licitação (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2019). Em função dos desequilíbrios financeiros no sistema de transporte coletivo, gerados pela pandemia do coronavírus, os cronogramas de implementação da frota estão sendo reavaliados (MOBILIDADE URBANA DE BAIXO CARBONO, 2022). É importante salientar, que as alternativas energéticas possíveis estão além de elétricos a bateria e elétricos híbridos, mas também biodiesel e biometano (ALBUQUERQUE, 2019).

Destaca-se também a cidade de Campinas, que conta com 15 ônibus elétricos a bateria, operados pelas empresas Itajaí Transportes Coletivos e Coletivos Pádova, 1 ônibus elétrico comprado pela CPFL, que começou a operar na Unicamp no 2020, além de 3 ônibus híbridos e 3 taxis elétricos (BARASSA et al., 2022).

Em Florianópolis, há um projeto embrionário, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), conta com um ônibus elétrico alimentado por energia solar, financiado pelo MTIC e participação da Fotovoltaica UFSC, Eletra, Marcopolo, Mercedes-Benz e WEG (SANTANA; SAMPAIO, 2021). Este ônibus elétrico é alimentado por uma estação de energia solar para fazer suas recargas. A energia para abastecer o ônibus é o excedente da quantidade produzida pela cobertura de células fotovoltaicas localizadas no Centro de Pesquisa. O ônibus circula entre o campus de Florianópolis (Trindade) e o Centro Integrado de Pesquisa em Energia Solar no Sapiens Parque (Cachoeira do Bom Jesus), faz 5 viagens por dia, com um trajeto de 52 quilômetros, e circula aproximadamente 5.000 km/mês (ALBUQUERQUE, 2019).

Além dos ônibus elétricos, outras tecnologias de ônibus ganham destaque no Brasil. O município de Curitiba (PR) já foi tido como exemplo nacional e internacional no que diz respeito ao sistema de TP (SCARPIN; SILVA, 2017). É uma das cidades membro do chamado C40 (C40 Cities), a qual estabeleceu metas ambiciosas para melhorar a qualidade de vida urbana e proteção do meio ambiente (KOZIEVITCH et al., 2017). Além disso, desde a década de 1960, tem trabalhado explicitamente em projetos

de TP urbano sustentável, com a implantação do BRT, que tornou Curitiba um modelo para as cidades ao redor do mundo, principalmente para aquelas que não possuem orçamento para construção de metrô. A cidade possui modelos de ônibus híbridos, Híbribus (veículos movidos a biodiesel e eletricidade). São dois tipos: HibryPlus (híbrido articulado) e HibryPlug (híbrido elétrico), ambos entraram em operação em 2016 (DREIER; SILVEIRA; RAMOS, 2016).

4.3 Barreiras e impulsionadores da mobilidade elétrica no transporte público

Considerando os ônibus elétricos, a questão da infraestrutura de recarga, observa-se preocupação e pouco conhecimento sobre as adequações necessárias para o carregamento das garagens com frotas maiores e diversificadas. Garagens com mais de 400 ônibus articulados, deverá demandar uma potência considerável de energia para o carregamento simultâneo e, conseqüentemente, uma adequação maior de infraestrutura de recarga. Desse modo, faz-se necessário o estabelecimento de empresas de energia como parceiras, de forma a reforçar os planos de implantação e financiamento dessas infraestruturas, de forma a suportar a necessidade de abastecimento das frotas em todas as cidades e operadores (BARASSA et al., 2022).

No Brasil, há três empresas de ônibus de baixa emissão: Eletra, BYD e Volvo. Estas empresas têm plantas produtivas no país, mas ainda não há uma demanda suficiente para incrementar a sua produção em grande escala. Contudo, a definição das metas de emissão definidas pela Lei Ambiental e pela Licitação de São Paulo, abrem uma oportunidade interessante de mercado para novas tecnologias de baixa-emissão. Além disso, outras cidades como Campinas, Belo Horizonte e Niterói estão conduzindo os próximos editais de transporte público de forma a implementar metas de redução de emissões de maneira similar como foi feito em São Paulo (ALBUQUERQUE et al., 2019).

Os fabricantes já dispõem de diversos tipos de ônibus de baixa emissão, híbridos, gás, elétricos e até hidrogênio em produção fora do Brasil. De maneira geral, todas as empresas em menor ou maior grau, já dispõem de algum produto destinado a mobilidade elétrica, ou já estão em desenvolvimento com algum parceiro.

Algumas empresas como a Eletra de capital nacional e a BYD de origem chinesa já produzem ônibus elétricos a bateria no Brasil, e mais recentemente a Mercedes-Benz apresentou o seu primeiro modelo totalmente elétrico para o mercado brasileiro, com planejamento para o início de produção em série já a partir de 2022. Mesmo para os sistemistas, que ainda não produzem itens destinados aos ônibus elétricos no Brasil de forma efetiva, a questão tecnológica não foi motivo de preocupação. O principal ponto abordado foi justamente não existir uma demanda nacional, ou dos mercados de exportação, que permita a produção em escala industrial. Dessa forma, o que poderia ser uma barreira, o conhecimento e maturidade tecnológica, para a introdução dos ônibus elétricos no Brasil, não foi percebido junto a nenhum dos atores da cadeia produtiva (BARASSA et al., 2022).

Importantes mercados da América Latina, como Chile e Colômbia, estão fazendo investimentos em frotas de ônibus elétricos para o transporte público de seus municípios, almejando, entre outras coisas, o reconhecimento de cidades mais limpas e sustentáveis da América do Sul. Neste cenário, apresenta-se uma janela de oportunidades para o setor automotivo nacional estabelecer-se como grande player regional, exportador das tecnologias ligadas à eletrificação veicular (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2021).

A questão da escala para a produção industrial está associada a falta de políticas públicas. Para os entrevistados, não há apoio governamental principalmente na esfera

federal. O principal componente para os ônibus elétricos são as células de bateria, que ainda precisam ser importadas e são taxadas com imposto de importação de 15%. Isto impacta diretamente no preço final, pois as baterias representam 60% do custo dos ônibus. O custo de aquisição de um ônibus elétrico, é três vezes maior que o preço de seu similar a diesel (BARASSA et al., 2022).

Há uma escassez de instrumentos de financiamento aos ônibus elétricos, o que está disponível no momento são as linhas de financiamento e subsídios oferecidas pelos Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no âmbito dos programas BNDES Finame, Fundo Clima, e Finem. O que caracteriza a não existência de instrumentos apropriados para um cenário de introdução de ônibus elétricos em larga escala nas principais cidades do país (BARASSA et al., 2022).

No estudo de Barassa et al. (2022), a partir do mapeamento realizado das políticas públicas que impactam o mercado de ônibus no Brasil, se evidencia a ausência de uma política nacional de estímulo à mobilidade de baixo-carbono que priorize a implementação de veículos de zero e baixas-emissões, nos diferentes segmentos de transporte. Também há ausência de metas e estratégias de curto, médio e longo prazo para promover a transição para a mobilidade elétrica com foco no transporte público de baixa-emissão.

A falta de políticas públicas de incentivo aos veículos elétricos pode causar outras barreiras, como econômicas, sociais e técnicas, pelo Brasil carecer de políticas de incentivo comparando com outros países, há uma baixa participação de mercado (RUOSO; RIBEIRO, 2022).

As cidades podem adotar algumas políticas indutoras (legislações e cronogramas) para forçar a substituição da frota. Porém, é válido ressaltar que os custos operacionais, na maioria das cidades, são suportados somente pelas tarifas, e estas não são capazes de cobrir as tecnologias atuais, sendo necessário subsídios. Desse modo, as políticas públicas são limitantes e não possíveis de serem adotadas pelas cidades, se não vierem acompanhadas por estratégias organizadas pelas esferas do Governo Federal, Estadual e Municipal (BARASSA et al., 2022).

Além disso, o que existe de instrumentos financeiros estão voltados especialmente para as atividades *upstream* – financiar os custos operacionais ou de infraestrutura. Diante disso, faltam estratégias que possam estimular a criação e aumento da capacidade produtiva em atividades-chave como fabricação de baterias, software, componentes eletrônicos e carregadores, contribuindo assim para a redução dos custos da eletrificação do transporte brasileiro (BARASSA et al., 2022).

Uma forma de evitar medidas políticas desfavoráveis à difusão de veículos elétricos é fomentar parcerias entre os setores público e privado. Um cronograma colaborativo permitiria aos fabricantes compartilhar problemas tecnológicos e de custo, e o governo poderia ajudar encaminhando soluções por meio de programas de financiamento e cooperação com centros de pesquisa (TRENCHER et al., 2020). Assim, as estratégias das empresas privadas e as políticas públicas poderiam ser alinhadas, visando o avanço tecnológico, gerencial e regulatório em benefício da sociedade (RUOSO; RIBEIRO, 2022).

5. CONCLUSÃO

Escolher não agir em direção a ações sustentáveis nas diversas esferas não é mais uma opção. O setor de transporte ganha destaque devido aos níveis de emissão de gases do efeito estufa e outros, diante disso, novas estratégias, desenvolvimento e uso de novas tecnologias devem ser utilizadas.

O transporte público está presente com muitos benefícios nas cidades brasileiras, diminui o congestionamento de veículos, concentra o uso de veículos automotores, possibilita a locomoção de pessoas, dentre outros. No entanto, ainda emite poluentes, devido a isso, associar tecnologias limpas se faz necessário.

O Brasil apresenta algumas iniciativas, principalmente concentradas no Sudeste (São Paulo), de inclusão de ônibus elétricos na frota do TP, iniciativa essa apoiada por uma lei que busca a redução de gases poluentes. Essa iniciativa começa a ser considerada em editais de outras cidades brasileiras, de forma que haja um “empurrão” para o uso de tecnologia limpa. No entanto, sente-se falta de política públicas em nível federal, para que haja transição da mobilidade.

Como estudos futuros sugere-se um mapeamento dos atores presentes no sistema sociotécnico de transporte público e transporte público sustentável. Com isso, novas estratégias podem ser geradas e adaptadas para diferentes contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. et al. **Eletromobilidade no transporte coletivo: o caso da cidade de São Paulo**. PROMOB-E, 2019.

ARKSEY, H., O’MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v.8, n.1, 2005.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy**, v. 15, p. 73 – 80, 2008.

BARASSA, E. et al. **Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono**. Documentos de Projetos (LC/TS.2022/9) Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2022.

BARASSA, E.; CRUZ, R. F.; MORAES, H. B. **1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica – Panorama de veículos elétricos brasileiros 2020**. 2021. PNME – Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. Disponível em: file:///D:/Dados%20PC/Downloads/https___www.pnme.org.br_wp-content_uploads_2021_03_1o-ANUARIO-BRASILEIRO-DA-MOBILIDADE-ELETRICA-2020.pdf. Acesso em: 26 ago. 2022.

BERMUDEZ, T. R. **Transiciones Socio - Técnicas hacia una Movilidad de Bajo Carbono: Un análisis del Nicho de los Buses de Baja Emisión para el Caso de Brasil**, 2018. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

BEZRUCHONAK, A. Geographic features of zero-emissions urban mobility: the case of electric buses in Europe and Belarus. **European Spatial Research and Policy**, [Lódz], v. 26, n. 1, p. 81-99, 2019.

BIAGUE, K. L. **Miniusinas solares fotovoltaicas em sistemas de transporte rápido por ônibus – BRT (Bus Rapid Transit)**: uma abordagem propositiva a partir do projeto de corredores BRT em implantação na cidade de Belo Horizonte. Belo Horizonte: IMIH, ago. 2011. Disponível em: <https://issuu.com/cleantechbr/docs/mini-usinas-solaresfotovoltaicasem-sistemas-de-t>. Acesso em: 28 jul. 2022.

CARVALHO, H. R. de. **Mobilidade Urbana Sustentável: conceitos, tendências e reflexões**. Brasília; Rio de Janeiro: Ipea, maio 2016. E-book. (Texto para Discussão).

Disponível em http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6637/1/td_2194.pdf. Acesso em: 28 jul. 2022.

CERVERÓ, R.; GUERRA, E.; AL, S. **Beyond mobility**: planning cities for people and places. Washington, DC: Island Press, 2017.

CORAZZA, M. V. et al. A new generation of buses to support more sustainable urban transport policies: A path towards “greener” awareness among bus stakeholders in Europe. **Research in Transportation Economics**, [s. l.], v. 55, p. 20-29, 2016.

DIÁRIO DO TRANSPORTE. **Quinze ônibus elétricos da Transwolff começam a operar nesta terça-feira, 19**. Nov. 2019. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2019/11/19/quinze-onibus-eletricos-da-transwolff-comecam-a-operar-nesta-terca-feira-19/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

DREIER, D.; SILVEIRA, S.; RAMOS, S. M. S. Energy and Greenhouse Gas Emissions Scenarios for the Bus Rapid Transit System in Curitiba, Brazil. **Smart Cities Concepts in Curitiba, Project Newsletter**, p.1-10. 2016.

E-BUS RADAR. Disponível em: <https://www.ebusradar.org/>. Acesso em 26 ago. 2022.

EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT (ECMT). **Assessment & decision making for sustainable transport**. Paris: OECD, 2004. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/04assessment.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2022.

GARCÍA-OLIVARES et al. Transportation in a 100% renewable energy. **Energy Conversion and Management**, v. 158, p. 266-285, 2018.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2020. Transport Biofuels, Tracking Report. Paris, France, 2020.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global EV Outlook 2021**. IEA. Paris, p. 101. 2021.

KOZIEVITCH, N. P.; SILVA, T. H.; ZIVIANI, A.; COSTA, G.; LUGO, G. Three Decades of Business Activity Evolution in Curitiba: A case Study. **Ann. Data Sci.**, 2017.

LIMA, G. C. L. S.; SILVA, G. L. R. da; ALBUQUERQUE NETO, G. S. Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**, São Paulo, Ano 41, n. 152, p. 53–72, 2019.

MACHADO, S. D. Mobilidade Urbana Sustentável: o caso do sistema de transporte público de ônibus da região metropolitana de Florianópolis. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MATHIESEN, B. V. et al. Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions. **Applied Energy**, v. 145, p. 139-154, 2015.

MCHUGH, David. Os planos para proibir carros diesel e a gasolina na Europa são realistas?. Folha de São Paulo. 04 ago. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3r7tPTd>. Acesso em: 26 ago. 2022.

MOBILIDADE URBANA DE BAIXO CARBONO. Guia de Eletromobilidade – orientações para a estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus, 2022. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/guia-de-eletromobilidade-orientacoes-para-estruturacao-de-projetos-no-transporte-coletivo-por-onibus/>. Acesso em 29 agos. 2022.

OLIVEIRA, E.T.; CARNEIRO, S.M.C. Ônibus híbrido como evolução para o transporte público em Campos dos Goytacazes – RJ. **Perspectivas Online: Humanas e Sociais Aplicadas**, v.12, n.35, p.01 –18, 2022.

PAGET-SEEKINS, L.; TIRONI, M. The publicness of public transport: the changing nature of public transport in Latin American cities. **Transport Policy**, [s. l.], v. 49, p. 176-183, 2016.

PEDROSO, G. **Avaliação energética, econômica e socioambiental de alternativas para sistemas de transportes urbanos coletivos a partir do modelo de apoio multicritério à decisão**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

RUOSO, A. C.; RIBEIRO, J. L. D. An assessment of barriers and solutions for deployment of electric vehicles in the Brazilian market. **Transport Policy**, 2022.

SANTANA, R. L.; SAMPAIO, R. A. **Viabilidade de implementação de ônibus elétrico no transporte coletivo de Goiânia**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021.

SÃO PAULO. **Editais de licitação** – delegação, por concessão, da prestação e exploração do serviço de transporte coletivo público de passageiros, na cidade de São Paulo. Dez. 2018. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SCARPIN, C. T.; SILVA, A. C. L. da. Projeções sobre o número de passageiros pagantes equivalentes na rede de transporte público coletivo no município de Curitiba para o ano tarifário de março de 2016 a fevereiro de 2017. **Revista dos Transportes Públicos**, São Paulo: ANTP, n. 145, ano 39, p. 63-81, 2017.

SILVA, T. B. et al. Assessment of decarbonization alternatives for passenger transportation in Rio de Janeiro, Brazil. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 103, 2022.

TOPAL, O.; NAKIR, İ. Total cost of ownership based economic analysis of diesel, CNG and electric bus concepts for the public transport in Istanbul City. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 2369, 2018.

TRENCHER, G.; TAEIHAGH, A.; YARIME, M. Overcoming barriers to developing and diffusing fuel-cell vehicles: governance strategies and experiences in Japan. **Energy Policy**, v. 142, 2020.

ZAPAROLLI, D. Elétricos no horizonte. **Pesquisa FAPESP 283**. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/09/066_el%C3%A9tricos_283.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022.