

5

Os ônibus elétricos e
a descarbonização da
mobilidade urbana

Filipe de Oliveira Souza
Clarissa Taquette Vaz*

* Respectivamente, arquiteto e engenheira do Departamento de Mobilidade Urbana e Logística da Área de Infraestrutura do BNDES.

INTRODUÇÃO

Inundações, deslizamentos de terra, avanço do nível do mar, ciclones, altas temperaturas, secas e incêndios são exemplos das ameaças que o aquecimento global e os eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes impõem à atividade econômica e à rotina do cidadão. Para mitigar esses riscos, são necessárias ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e promover a adaptação às mudanças climáticas. No senso comum, a associação entre poluição causada pelo trânsito e efeito estufa é automática. Logo, a possibilidade cada vez mais tangível de uso em grande escala de veículos elétricos parece uma excelente solução, que combina eficiência climática com alta tecnologia, conforto e qualidade para o usuário.

O objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral sobre os ônibus elétricos, sua importância como política de investimento e seu papel na descarbonização da mobilidade urbana. Para isso, o texto está organizado em quatro seções. A primeira é uma introdução ao tema. A segunda seção trata da descarbonização da mobilidade urbana, chamando atenção para a sobrevalorização do plano de eletrificação dos transportes e a subestimação da estratégia de priorização do transporte público em relação ao transporte individual. A terceira apresenta um panorama sobre os ônibus elétricos: o mercado mundial, os benefícios, os desafios, o potencial brasileiro e as ações do BNDES. A quarta seção é uma conclusão, com sugestões de caminhos para a implementação dos ônibus elétricos.

A DESCARBONIZAÇÃO DA MOBILIDADE URBANA

A mobilidade urbana no contexto das mudanças climáticas

O Acordo de Paris, adotado em 2015 como parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), é atualmente o principal pacto global para a descarbonização. Os países signatários se

comprometeram a limitar o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços para não ultrapassar 1,5°C. Para atingir esse objetivo, o Brasil estabeleceu a meta de reduzir suas próprias emissões de GEE em 48,4% até 2025 e em 53,1% até 2030, em relação ao patamar de emissões de 2005 (Federative Republic of Brazil, 2023). A meta se refere a uma significativa redução de 1.320 MtCO₂e, perante as 2.319 MtCO₂e emitidas em 2022, segundo cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg, c2024).

Tabela 1. Emissões brasileiras de GEE em 2022

SETOR	MtCO ₂ e	PARTICIPAÇÃO (%)
Mudança de uso da terra e florestas	1.120	48
Agropecuária	617	27
Processos industriais	91	4
Resíduos	78	3
Energia	412	18
Transporte	217	9
Outros subsectores de energia	196	8
Total	2.319	100

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Seeg (c2024).

Os maiores contribuintes para as emissões brasileiras são os setores de “mudança de uso da terra e florestas” e “agropecuária”, responsáveis por 75% do total. A atividade dos transportes responde por 9% (ver Tabela 1). A parcela exclusiva dos ônibus pode ser inferida, grosso modo, a partir de duas publicações. O *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários* (Brasil, 2014), apesar de muito defasado, mostra que os ônibus urbanos participam com aproximadamente 8,6% das emissões do modo rodoviário (ver Tabela 2). Já o *Balanço Energético Nacional* (EPE, 2022) informa que o modo rodoviário corresponde a quase todo o consumo energético do setor de transportes (94%), que ainda contempla as modalidades aérea, ferroviária e hidroviária. Considerando que todas as emissões de transporte sejam hipoteticamente alocadas ao modo rodoviário para efeito de simplificação, pode-se concluir que os ônibus em operação no transporte público urbano representam não mais que 0,8% das emissões de GEE do Brasil, cerca de 18 MtCO₂e.

Tabela 2. Participação nas emissões de CO₂ de escapamento por veículo rodoviário

VEÍCULOS RODOVIÁRIOS	PARTICIPAÇÃO (%)
Caminhões	39,7
Automóveis	28,3
Comerciais leves	11,5
Motocicletas	10,7
Ônibus urbanos	8,6
Ônibus rodoviários	1,3
Total	100,0

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de Brasil (2014).

Diferentemente do que se pode imaginar, os dados mostram pouca relevância relativa do transporte, sobretudo dos ônibus, perante o grande desafio climático brasileiro. Mesmo na estratificação setorial, nota-se o maior impacto do transporte de carga e do transporte individual privado. Como se verá adiante neste texto, para uma maior efetividade, é necessária uma abordagem integrada para toda a mobilidade. A estratégia passa por estímulo ao uso de modos sustentáveis, como o transporte coletivo e o não motorizado. Os ônibus elétricos, em razão de suas amplas externalidades, desempenham um papel importante, para além dos benefícios climáticos.

A estratégia para descarbonização da mobilidade urbana

Se por um lado os ônibus são pouco significativos no total de emissões do país, por outro, eles representam 86% do transporte público coletivo (ANTP, 2020). Alguns benefícios dessa modalidade são inclusão social e redução do consumo de energia, dos acidentes e dos congestionamentos. Apesar disso, os dados mostram que ano após ano o transporte coletivo perde usuários para modos privados como carros e motocicletas (ANTP, 2020), antes mesmo do impacto da pandemia de Covid-19. A tendência só será revertida mediante investimento na qualidade da prestação do serviço. Portanto, a oferta de ônibus elétricos deve ser celebrada, antes de tudo, como a promoção do transporte coletivo.

A redução dos efeitos negativos dos sistemas de transporte normalmente é alcançada com três medidas: diminuição de viagens desnecessárias, substituição modal ou melhoria tecnológica. Quedas bruscas e inesperadas na quantidade de viagens só acontecem em casos extraordinários, como ocorreu durante a pandemia. Portanto, as medidas mais efetivas e imediatas de redução das emissões de GEE da mobilidade urbana têm sido: incentivo ao uso de modos mais sustentáveis, como transporte coletivo, caminhadas e bicicleta; e eletrificação dos veículos em geral.

Do ponto de vista estritamente climático, nota-se que os veículos que transportam mais pessoas são mais eficientes, ainda que usem combustível fóssil. Em outras palavras, atrair as pessoas dos automóveis particulares para o transporte coletivo, mesmo que para os ônibus a *diesel*, é uma eficaz forma de descarbonização, pois um carro emite cinco vezes mais GEE por passageiro do que um ônibus (98,2 *versus* 19,5 gCO₂e/pass.km). A emissão seria ainda menor se essas pessoas passassem a usar ônibus elétrico ou, principalmente, metrô (ver Tabela 3). Evidentemente, o transporte de alta capacidade não se aplica a qualquer situação, pois requer alta demanda concentrada para ser viável financeira e operacionalmente. A mensagem que se pretende transmitir é a de necessidade de um planejamento urbano integrado, que considere as condições de cada área da cidade para o funcionamento de uma rede otimizada de transporte, com melhor relação entre benefícios e custos.

Tabela 3. Fator de emissão por modo de transporte

MODO DE TRANSPORTE	FATOR DE EMISSÃO gCO ₂ e/km (A)	OCUPAÇÃO MÉDIA PASSAGEIROS (B)	FATOR DE EMISSÃO POR PASSAGEIRO gCO ₂ e/pass.km (A/B)
Carro	118	1,2	98,2
Ônibus a diesel	1.173	60,0	19,5
Ônibus elétrico	158	60,0	2,6
Metrô	2.149	1.500,0	1,4

Fonte: Elaboração própria, a partir da Calculadora do Fundo Clima (<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/clima/emissoes-evitadas-e-removidas>) e de dados de operadores metroferroviários.

Para demonstrar o efeito das medidas citadas, o Institute for Transportation and Development Policy (ITDP, 2022) estimou o impacto de quatro cenários possíveis para a mobilidade urbana:

- i) manutenção da conjuntura atual: preserva a tendência de aumento de emissões;
- ii) alta substituição modal: quando os usuários de carros e motos passam a usar transporte coletivo, bicicletas e fazer caminhadas após ações de planejamento urbano e priorização;
- iii) intensa eletrificação: inclui os veículos públicos e privados na proporção que são atualmente utilizados; e
- iv) combinação de substituição modal e eletrificação.

Segundo o estudo, para atender à meta de limitar o aumento da temperatura a 1,5°C, o transporte urbano no planeta não pode emitir mais do que 65 GtCO₂e até 2050. O único cenário compatível com esse limite é o que combina substituição modal e eletrificação, pois emite 60 GtCO₂e.

Quadro 1. Emissões e impactos dos cenários de descarbonização da mobilidade

CENÁRIOS	EMISSIONES (GtCO ₂ e)	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
Manutenção da conjuntura atual	119	–	<ul style="list-style-type: none"> » Muitas mortes no trânsito. » Alto custo público e privado. » Pouca acessibilidade a pessoas de baixa renda. » Expansão urbana excessiva. » Poluição sonora e do ar.
Eletrificação de veículos	75	<ul style="list-style-type: none"> » Menos poluição sonora e do ar. 	<ul style="list-style-type: none"> » Muitas mortes no trânsito. » Alto custo público e privado. » Pouca acessibilidade a pessoas de baixa renda. » Expansão urbana excessiva.
Substituição modal	86	<ul style="list-style-type: none"> » Menos mortes no trânsito. » Mais acessibilidade a pessoas de baixa renda. » Mais saúde física e mental pelo aumento de caminhadas e uso de bicicletas. 	<ul style="list-style-type: none"> » Pouca redução da poluição sonora e do ar se comparada ao cenário de eletrificação.

(Continua)

(Continuação)

CENÁRIOS	EMISSIONES (GtCO ₂ e)	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
Substituição modal + eletrificação	60	<ul style="list-style-type: none"> » Menos mortes no trânsito. » Mais acessibilidade a pessoas de baixa renda. » Mais saúde física e mental pelo aumento de caminhadas e uso de bicicletas. » Menos poluição sonora e do ar. 	–

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de ITDP (2022).

Como se observa no Quadro 1, é válido adotar medidas nas duas direções: por um lado, fomentando a substituição do uso de automóveis e motocicletas pelo transporte público e o não motorizado, e, por outro, eletrificando os veículos. Os ônibus elétricos conjugam ambos os fatores. Além disso, podem ter um papel-chave no impulso inicial da eletrificação do transporte em geral. Citam-se algumas razões: são veículos de uso intensivo, o que melhora a viabilidade econômica pela boa relação Opex/Capex; substituem o *diesel*, extremamente emissor de material particulado, prejudicial à saúde; permitem concentrar investimento na infraestrutura de recarga em poucas garagens ou terminais; e são serviços regulados pelo poder público.

O ÔNIBUS ELÉTRICO NO TRANSPORTE PÚBLICO

Mercado global

Existem diversas tecnologias de ônibus elétricos no mercado. Essa categoria contempla desde os antigos trólebus (alimentados por cabos de energia aéreos) até os modernos ônibus a bateria, passando pelos híbridos (combinam motores elétricos com combustível convencional) e mais recentemente pelos ônibus a células de combustível (têm motorização elétrica e são abastecidos a hidrogênio). Para os objetivos deste texto, quando o assunto for adoção de ônibus elétricos, trata-se sobretudo dos veículos a bateria para o transporte público municipal.

O mercado de ônibus elétricos tem crescido significativamente nos últimos anos, com vários países e cidades empregando-os como parte de seus esforços para reduzir as emissões de GEE e melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas. O principal estimulador das vendas tem sido a ação governamental, por meio de restrições e incentivos, mas a evolução da tecnologia e a diminuição dos custos de baterias também têm contribuído para a viabilização dos investimentos. A frota de ônibus elétricos cresce impulsionada pelo forte mercado chinês, responsável por 96% da frota global. A Europa segue como segundo mercado, com lenta substituição e redução dos ônibus a motor de combustão interna. O conjunto dos demais países ainda apresenta crescimento da frota a combustão.

Tabela 4. Frota global de ônibus municipais (unidades)

TIPOLOGIA POR PAÍS	2018	2019	2020	2021E*	2022E*	2023E*	(% FROTA PAÍS)
Ônibus elétricos	382.954	416.678	449.843	487.929	531.754	577.533	(36%)
<i>China</i>	379.092	410.231	440.012	474.166	512.882	552.621	(86%)
<i>Europa</i>	2.238	3.888	5.593	7.698	9.969	12.648	(7%)
<i>Outros</i>	1.624	2.559	4.238	6.065	8.903	12.264	(2%)
Combustão interna	1.067.121	1.063.458	1.056.097	1.044.682	1.026.889	1.009.577	(64%)
<i>China</i>	186.841	171.990	158.072	139.187	115.581	90.766	(14%)
<i>Europa</i>	187.521	187.628	186.516	184.890	183.021	180.767	(93%)
<i>Outros</i>	692.759	703.840	711.509	720.605	728.287	738.044	(98%)
Total	1.450.075	1.480.136	1.505.940	1.532.611	1.558.643	1.587.110	(100%)

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de BNEF (2020, 2023).

Nota: * Dados estimados na época dos estudos.

As cidades se tornaram protagonistas dessa agenda por meio de incentivos financeiros e regulações restritivas municipais, contando na maior parte das vezes com apoio do governo central de cada país. A China é o grande destaque, sendo Shenzhen a primeira cidade do mundo a eletrificar, em 2017, 100% de sua frota de 16.400 ônibus. Na Europa, a maior frota pertence a

Londres, que anunciou em 2023 seu milésimo ônibus elétrico. A cidade tem uma política para melhorar a qualidade do ar em que taxas de congestionamento de veículos poluentes ajudam a financiar a expansão da frota elétrica.

A América Latina se tornou palco de importantes iniciativas. Atualmente, 4.020 ônibus elétricos a bateria estão em operação em países da região, com destaque para Chile e Colômbia (ver Tabela 5). Santiago se vale de uma política nacional de promoção da eletromobilidade e conta com dois mil ônibus elétricos em operação, a maior frota de ônibus elétricos fora da China, equivalente a 26,9% do total de ônibus da cidade (7.427). Bogotá inovou o modelo de negócio da prestação do serviço de transporte público, com compra e operação dos ônibus sob contratos distintos, que ampliou a quantidade e a viabilidade dos ônibus elétricos, com 1.486 veículos em operação, 16,5% do total de ônibus da cidade (9.003).

Tabela 5. Frota de ônibus elétricos da América Latina (unidades)

PAÍS	TRÓLEBUS	A BATERIA	TOTAL
Chile	30	2.013	2.043
Colômbia	–	1.590	1.590
México	525	129	654
Brasil	302	142	444
Barbados	–	49	49
Uruguai	–	36	36
Argentina	77	22	99
Equador	85	21	106
Guatemala	–	8	8
Peru	–	8	8
Paraguai	–	2	2
Venezuela	45	–	45
Total	1.064	4.020	5.084

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do E-bus Radar (c2024).

Benefícios econômicos, sociais e ambientais

Além da redução das emissões de GEE, os ônibus elétricos oferecem diversos outros benefícios ambientais e socioeconômicos tanto para quem está dentro do veículo quanto para quem está do lado de fora. Em termos de poluição atmosférica, os motores a óleo *diesel*, padrão de ônibus e caminhões, são grandes emissores de material particulado. Essas pequenas partículas dispersas no ar têm um impacto significativo na qualidade do ar e estão associadas a diversas doenças dos sistemas respiratório e cardiovascular. A substituição por motores elétricos também contribui para reduzir a emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e óxidos de enxofre (SOx). Esses componentes também afetam a saúde humana e o aquecimento global e têm efeitos na formação de chuva ácida, que pode gerar corrosão em edifícios, estruturas metálicas e monumentos históricos, além de prejudicar a biodiversidade quando precipita sobre corpos hídricos, solos e vegetação.

Os ônibus elétricos são extremamente silenciosos, contribuindo para diminuição dos níveis de poluição sonora no ambiente urbano. A exposição constante a níveis elevados de ruído pode levar a estresse crônico, ansiedade, distúrbios do sono e hipertensão arterial, que impactam saúde física e mental, além de produtividade no trabalho. O motorista, cujo posto de trabalho se localiza ao lado de um motor a combustão no ônibus tradicional, é um dos grandes beneficiários da substituição pelo veículo elétrico, pois passa a ser menos exposto a riscos à saúde como insônia, transtornos do humor, perdas auditivas e lesões nos membros devido ao calor, ao ruído e às vibrações. Para os usuários, a mudança é radical. Eles passam a contar com um serviço com maior qualidade, conforto e menor intensidade de calor e vibração, que são vantagens do motor elétrico em comparação ao motor a *diesel*. No fim das contas, a introdução de ônibus elétricos torna o transporte público mais atrativo, incentivando mais pessoas a migrarem para esse meio de transporte sustentável.

Desafios para a implantação dos ônibus elétricos

A tecnologia de ônibus elétricos ainda enfrenta entraves para uma implementação em massa. Seu histórico operacional é limitado. Logo, costuma enfrentar resistência por parte dos operadores. Podem ser listados como desafios de natureza operacional: garantir o correto funcionamento da infraestrutura de recarga, incluindo dimensionamento da rede elétrica; montar um plano de carregamento adequado, uma vez que o processo de recarga pode demorar horas; limitações de autonomia, apesar dos avanços na tecnologia, o que pode ser um problema em rotas mais longas; qualificações e treinamento de mão de obra; e fornecimento de peças de reposição.

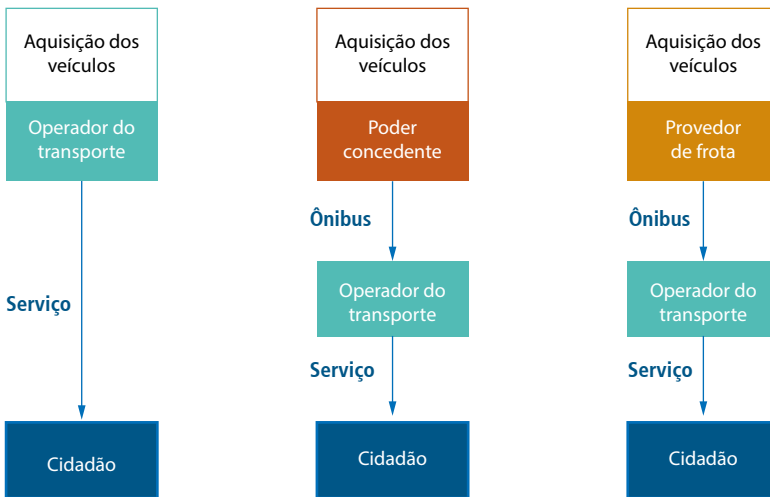
Do ponto de vista financeiro, algumas novas questões são impostas. A principal delas é o alto investimento, já que os ônibus elétricos a bateria são aproximadamente 3,5 vezes mais caros do que seus equivalentes a *diesel*. Fazem piorar essa conta a ausência do valor de revenda dos ônibus elétricos e a necessidade de investimento adicional nas garagens dos operadores para adequar *layout*, carregadores e rede elétrica. Embora os ônibus elétricos envolvam maiores custos iniciais de investimento, eles se destacam por custos operacionais e de manutenção mais baixos. No entanto, um estudo conduzido pela iniciativa Zero Emission Bus Rapid-Deployment Accelerator (Zebra) (Eufrásio; Daniel; Delgado, 2022), baseado em um piloto com vinte linhas de ônibus municipais em São Paulo, revelou que, em geral, o TCO¹ dos ônibus elétricos, apesar de próximo, ainda é mais alto do que o TCO dos ônibus a *diesel*, ou seja, a economia prevista na fase de operação ainda não compensa o alto investimento. Entre as medidas que auxiliariam a equiparação dos TCOs, podem ser citadas: redução das taxas de juros de financiamento, aumento do prazo das concessões e, sobretudo, subvenções governamentais.

1 O *total cost of ownership* (TCO) – ou custo total de propriedade – reflete o valor presente líquido das despesas totais, incluindo investimentos em capital, operação e manutenção de ônibus e infraestrutura de abastecimento durante sua vida útil. É importante salientar que a análise do TCO é altamente sensível às condições de mercado, tais como os preços dos ônibus, do *diesel*, da energia elétrica, as taxas de câmbio, as taxas de desconto e as condições de financiamento.

Mesmo com subsídios públicos, a obtenção de financiamento tende a ser outra barreira. Visto que se trata de uma empreitada com altos custos iniciais a serem compensados ao longo do tempo de operação, o crédito se mostra um instrumento bastante efetivo. Entretanto, muitos operadores e municípios não atendem aos requisitos bancários de porte, governança e saúde financeira. Estruturas financeiras sofisticadas têm sido propostas pelos diversos atores para viabilizar o financiamento, baseadas em alternativas do modelo de aquisição dos ônibus.

Estão mapeadas resumidamente três possibilidades de propriedade dos veículos: (i) do operador do ônibus; (ii) do ente público; e (iii) de um terceiro designado especificamente para prover a frota. A partir dessa estrutura básica, podem existir variações. Por exemplo, no primeiro modelo, o poder concedente pode aportar recursos à concessão para apoiar a aquisição. No terceiro, o ônibus pode ser alugado por uma empresa operando livremente em mercado ou fornecido por meio de concessão pública. Qualquer que seja a solução, o modelo de negócios e o contrato de concessão precisam ser compatibilizados.

Figura 1. Possibilidades de propriedade dos veículos



Fonte: Elaboração própria.

Potencial brasileiro

O Brasil tem 444 ônibus elétricos, sendo 302 da antiga tecnologia trólebus que ainda operam no estado de São Paulo. Os 142 ônibus a bateria foram adotados em operações-piloto de 13 municípios e três sistemas metropolitanos onde operam linhas intermunicipais. Destes, 73 foram produzidos pela BYD e 69 pela Eletra. Embora os números ainda não sejam significativos, há planos de expansão em diversos municípios e estados. Para atender a essa crescente demanda, o Novo PAC – programa de investimentos do Governo Federal – abriu seleção de projetos para a modalidade de renovação de frota para transporte público, que prevê apoio à adoção de ônibus elétricos.

Tabela 6. Frota de ônibus elétricos operante nas cidades brasileiras (unidades)

LOCALIDADES	TRÓLEBUS	MIDI A BATERIA*	CONVENCIONAL A BATERIA	ARTICULADO A BATERIA	TOTAL
São Paulo	201	–	68	–	269
São Paulo – intermunicipal	95	–	–	1	96
Salvador – intermunicipal	–	–	20	–	20
São José dos Campos	–	–	–	12	12
Salvador	–	–	8	–	8
Santos	6	1	–	–	7
Brasília	–	–	6	–	6
Diadema	–	–	6	–	6
Guarujá	–	–	4	–	4
Vitória – intermunicipal	–	–	4	–	4
Maringá	–	1	2	–	3
Volta Redonda	–	–	3	–	3
Bauru	–	–	2	–	2
Mauá	–	–	2	–	2
São Bernardo do Campo	–	–	1	–	1
Sorocaba	–	–	1	–	1
Total	302	2	127	13	444

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do E-bus Radar (c2024).

Nota: * Midiônibus são modelos de tamanho intermediário, menores que os ônibus convencionais e maiores que os micro-ônibus.

As iniciativas de maior porte que mais avançaram e chegaram a publicar procedimento de manifestação de interesse e/ou edital de licitação de concessão foram as de Goiás, com 114 ônibus; as de Campinas, com duzentos; e as de São José dos Campos, com quatrocentos, embora ainda não tenham conseguido atrair interessados. Em Curitiba, o BNDES foi recentemente contratado para estruturar a concessão de ônibus na região metropolitana, com metas progressivas de eletrificação da frota, atualmente em 1.543 ônibus, atingindo 33% até 2030 e 100% até 2050.

A grande e concreta possibilidade de incremento atualmente está na cidade de São Paulo. A Lei Municipal 16.802, de 17 de janeiro de 2018, determinou a eliminação das emissões de CO₂ fóssil e a redução de 95% nas emissões de NOx e material particulado até 2038. Isso implica a eletrificação de toda a frota, atualmente composta por cerca de 13 mil ônibus. O programa de metas da prefeitura prevê a inserção de pelo menos 2.600 ônibus elétricos até 2024.

O sucesso de São Paulo será fundamental para o amadurecimento do mercado. A demanda da cidade, por si, é capaz de gerar escala mínima de produção para estabilidade no fornecimento, com redução de preços, ampliação dos serviços e estabelecimento de plataforma de exportação. Atentos a esse potencial, quatro fabricantes – BYD, Eletra, Marcopolo e Mercedes-Benz – se tornaram aptos a produzir no país. Estima-se que a capacidade produtiva atual do Brasil esteja em quatro mil ônibus elétricos por ano. À medida que a demanda nacional e da América Latina aumenta, espera-se que outros fabricantes que já produzem ônibus convencionais no Brasil, como MAN, Volvo e Scania, passem a produzir os elétricos.

A frota total brasileira de ônibus urbanos é estimada em 107.000 unidades (NTU, 2023). Em 2023, a indústria nacional produziu 13,9 mil ônibus urbanos, sendo 13,3 mil para o mercado interno e 633 destinados à exportação (Fabus, 2024). Um exercício estimativo de aumento gradual da participação de ônibus elétricos nas vendas internas de ônibus indica um mercado potencial entre R\$ 5,2 bilhões e R\$ 34,7 bilhões em 2033, a depender do cenário² adotado.

2 No cenário conservador, 15% dos ônibus vendidos ao fim de dez anos são elétricos; no otimista, 50%; e no disruptivo, 100%.

Tabela 7. Estimativa de vendas de ônibus elétricos (R\$ milhões)

CENÁRIOS	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Conservador	190	2.416	2.462	2.554	3.004	3.071	3.459	3.867	4.294	4.740	5.206
Otimista	238	2.899	3.754	4.418	6.009	7.676	9.433	11.280	13.214	15.237	17.353
Disruptivo	381	4.251	7.220	10.309	13.520	16.888	20.438	24.172	28.079	32.167	34.707

Fonte: Elaboração própria.

Medidas de transição energética no BNDES

O BNDES vem se empenhando na busca de novas soluções, instrumentos e formas de atuar. Entre as medidas já tomadas, pode-se citar que em 2019 o Banco definiu uma política de conteúdo nacional progressiva específica para o credenciamento de veículos de baixo carbono e baterias em sua base de itens financiáveis, que podem ser adquiridos com recursos da instituição. O fabricante é incentivado a se instalar no país devido à baixa exigência inicial de conteúdo local e precisa aumentar seus índices de nacionalização gradualmente ao longo dos anos. Como resultado, hoje quatro fabricantes estão credenciados e são capazes de produzir ônibus elétricos de origem nacional, conforme mencionado anteriormente.

Em paralelo, o BNDES ajustou sua política operacional para que as taxas de juros mais baixas se apliquem a ônibus elétricos nas suas principais linhas de financiamento (Finem, Finame e Fundo Clima). Além disso, o Banco começou a fomentar, junto a operadores, investidores privados e entes públicos, operações de crédito com estruturas financeiras mais complexas, fora dos modelos mais tradicionais, para aquisição de ônibus. Em 2023, por exemplo, foi aprovada uma operação de crédito de R\$ 2,5 bilhões para o município de São Paulo, na qual o BNDES financia uma subvenção para investimento na concessão equivalente à diferença de valores entre o ônibus a *diesel* e o elétrico a ser adquirido pelos operadores.

Entre as ações em andamento, podem ser mencionadas: financiamento ao primeiro BRT elétrico do Brasil; estudos de pré-viabilidade para implementação de ônibus elétricos nas cidades de Curitiba e Salvador em parceria

com o KfW (banco de desenvolvimento alemão); e estruturação da nova concessão de ônibus na Rede Integrada de Transporte de Curitiba com vistas à eletromobilidade. Além disso, estão em perspectiva novos financiamentos à aquisição de frotas pelo país e aumento do *funding* para ônibus elétricos no Fundo Clima.

CONCLUSÃO

A implementação dos ônibus elétricos gera muitos benefícios climáticos, mas não se limita a esse aspecto. Para ter seus efeitos amplificados, deve fazer parte de uma abrangente estratégia para a mobilidade urbana, que inclui investimento em planejamento urbano, serviços e infraestrutura para pedestres, ciclistas e transporte público em geral. Tais iniciativas são capazes de atrair o usuário do automóvel privado para os modos mais sustentáveis, o que já é uma ação de descarbonização. Uma estratégia que combine substituição modal e eletrificação é a contribuição mais eficaz que o setor pode oferecer para o atendimento às metas do Acordo de Paris.

Como mencionado, diversos desafios são impostos à implantação dos ônibus elétricos. Com o desenvolvimento da tecnologia, a principal questão passou a ser de ordem financeira, o que mostrou ser essencial a participação dos governos. Para tanto, é preciso planejamento e compreensão dos impactos fiscal, financeiro e operacional demandados por essa mudança perante os benefícios estimados. Os avanços em São Paulo, em particular por seu porte e visibilidade, servem de exemplo e aceleram a adoção país a fora. Mas, dada a diversidade nacional, a solução empregada e a velocidade de implantação da nova tecnologia serão específicas para cada localidade.

Conforme mostrado, o incentivo do BNDES a um mercado nascente como o dos ônibus elétricos ocorre tanto pelo lado da oferta – estimulando fabricantes a instalarem linhas de produção no país – quanto pelo lado da demanda – por meio da estruturação de novos projetos, de linhas de financiamento a custos reduzidos e de fomento de novas operações com operadores, investidores e entes públicos. O Banco tem buscado atuar de forma proativa com todos os instrumentos de que dispõe, sempre alertando os gestores públicos para a necessidade de planejamento e avaliação prévia

dos impactos. A nova tecnologia impõe desafios, mas muitos podem ser contornáveis em razão do alto impacto que os ônibus elétricos geram para o desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS. *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos – Simob/ANTP: relatório geral 2018*. São Paulo: ANTP, 2020.

Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BNEF – BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. *Long-Term Electric Vehicle Outlook 2020*. New York: BNEF, 2020. Disponível em: <https://www.bnef.com/insights/23133/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BNEF – BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. *Long-Term Electric Vehicle Outlook 2023*. New York: BNEF, 2023. Disponível em: <https://www.bnef.com/insights/31517>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013 – ano-base 2012: relatório final*. Brasília, DF: MMA, 2014. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviarios_2013.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

E-BUS RADAR. Ônibus elétricos América Latina. *E-bus Radar*, [s. l.], c2024. Disponível em: <https://www.ebusradar.org/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço energético nacional 2022: ano base 2021*. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

EUFRÁSIO, A. B. R.; DANIEL, J.; DELGADO, O. *Análise da implantação de ônibus zero emissão na frota de um operador de ônibus da cidade de São Paulo*. São Paulo: Conselho Internacional de Transporte Limpo, 2022. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/11/brazil-hvs-ZEBRA-analise-operacion-onibus-eletricos-Sao-Paulo-nov22-1.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

FABUS – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ÔNIBUS. Produção das associadas: mapas de produção 2024. *Fabus*, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.fabus.com.br/producao-das-associadas/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL. *Nationally Determined Contribution (NDC) to the Paris agreement under the UNFCCC*. Brasília, DF: Federative Republic of Brazil, 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-11/Brazil%20First%20NDC%202023%20adjustment.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

ITDP – INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO. O cenário de cidades compactas eletrificadas. *ITDP*, Rio de Janeiro, 25 out. 2022. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/o-cenario-de-cidades-compactas-eletrificadas/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. *Os grandes números da mobilidade urbana: cenário nacional – atualizado em dezembro/2023*. Brasília, DF: NTU, 2023. Disponível em: https://www.ntu.org.br/novo/ckfinder/userfiles/files/NTU-Grandes%20números%20do%20setor%20v12_3.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES. *Seeg*, [s. l.], c2024. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 25 jan. 2024.