De Santiago a Shenzhen

COMO OS ÔNIBUS ELÉTRICOS ESTÃO MOVENDO AS CIDADES

ITDP
Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento

AUTORES E AGRADECIMENTOS

AUTORES DO ITDP
Mackenzie Allan
Stanford Turner
Tara Eisenberg

COLABORADORES DO ITDP

EDIÇÃO, REVISÃO E SUPORTE ADICIONAL DOS SEGUINTES COLEGAS DO ITDP:
Aimee Gauthier
Beatriz Rodrigues
Heather Thompson
Jacob Mason
Shanshan Li

COLEGAS DE DIVERSOS ESCRITÓRIOS REGIONAIS DO ITDP CONTRIBUÍRAM COM DADOS E INFORMAÇÕES DE APOIO, ALÉM DA REVISÃO INTERNA:

Beatriz Rodrigues	ITDP Brazil
Shanshan Li	ITDP China
Vaishali Singh	ITDP India
Sivasubramaniam Jayaraman	ITDP India
Anuj Dhole	ITDP India
J. César Hernández Muñoz	ITDP Mexico
Gonzalo Peon Carballo	ITDP Mexico
Felix Vidal	ITDP Mexico

APOIO
O ITDP gostaria de agradecer à Hewlett Foundation por seu apoio a esta pesquisa.

FOTO DE CAPA
FONTE: ITDP China

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS 5

1 INTRODUÇÃO 8

1.1 SOBRE ESTA PUBLICAÇÃO

1.2 METODOLOGIA

1.3 OPORTUNIDADES E CONSIDERAÇÕES RELATIVAS A ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA

1.4 OBJETIVOS DE DESEMPENHO, CONSIDERAÇÕES E AÇÕES VISANDO AO SUCESSO

2 ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA 27

2.1 MODELOS MAIS COMUNS DE ÔNIBUS

2.2 MODELOS MAIS COMUNS DE BATERIAS

3 CARREGAMENTO 33

3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO

4 PROJETOS-PILOTO 40

5 CONTRATOS 50

6 CUSTEIO, FINANCIAMENTO E MODELO FINANCEIRO 60

6.1 CUSTOS DE CAPITAL

6.2 MECANISMOS COMUNS DE CUSTEIO E FINANCIAMENTO DE ÔNIBUS E BATERIAS

6.3 DESPESAS OPERACIONAIS

6.4 CUSTEIO DAS DESPESAS OPERACIONAIS

6.5 MODELO FINANCEIRO

7 PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS E OPERAÇÕES 76

7.1 PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO

7.2 PLANEJAMENTO DE ROTAS

7.3 PLANEJAMENTO DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO: CONSIDERAÇÕES E BOAS PRÁTICAS

7.4 FIM DA VIDA ÚTIL: DESCARTE DE BATERIAS

8 ESTRATÉGIAS DE APOIO 95

9 CONCLUSÃO 100

9.1 ÁREAS A SEREM EXPLORADAS E PRÓXIMOS PASSOS

10 APÊNDICE 104

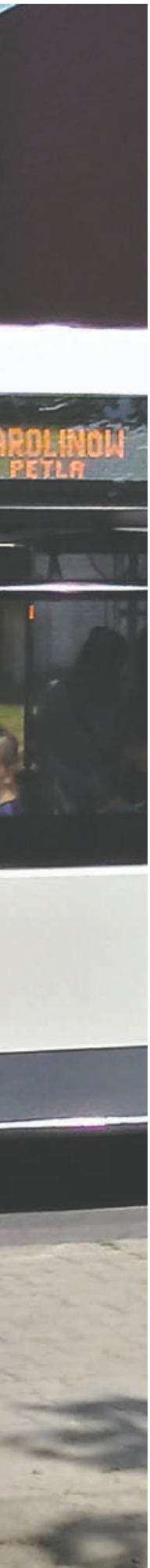
10.1 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

10.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JESTEM EKO
40

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

BEB	Ônibus elétrico a bateria [*Battery electric bus*]
BRT	*Bus rapid transit*
BYD	Build Your Dreams (empresa chinesa de BEBs)
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
GNC	Gás natural comprimido
VE	Veículo elétrico
FAME	Adoção e fabricação mais rápida de veículos híbridos e elétricos *[Faster Adoption and Manufacturing of Hybrid and Electric Vehicles]*
GEE	Gás de efeito estufa
HVIP	Projeto de Incentivo para Caminhões e Ônibus Híbridos e de Zero Emissão (Califórnia, EUA) *[Hybrid and Zero-Emission Bus and Truck Voucher Incentive Project (California, U.S.)]*
ICE	Motor de combustão interna *[internal combustion engine]*
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
kWh	Quilowatt-hora
LFP	Fosfato de ferro-lítio (tipo de bateria)
Li-S	Lítio-enxofre (tipo de bateria)
LMP	Lítio-metal-polímero (tipo de bateria)
LTO	Titanato de lítio (tipo de bateria)
N_2	Nitrogênio (dinitrogênio)
N_2O	Óxido nitroso
NEV	Veículo de energia nova *[new energy vehicle]*
NO_x	Óxido de nitrogênio
NMC	Óxido de lítio níquel manganês cobalto (tipo de bateria)
GNL	Gás natural liquefeito
VEP	Veículo elétrico privado
MP	Material particulado
TtW	Do tanque à roda *[tank-to-wheel]*
SOC	Estado de carga *[state of charge]*
SO_2	Dióxido de enxofre
TCO	Custo total de propriedade *[total cost of ownership]*
VKT	Quilometragem percorrida por veículos *[vehicle kilometers travelled]*
COV	Compostos orgânicos voláteis
WtT	Do poço ao tanque *[well-to-tank]*
WtW	Do poço à roda *[well-to-wheel]*
ZeEUS	Sistema de ônibus urbano com emissão zero *[zero-emission urban bus system]*



PÁGINA AO LADO
Dois ciclistas pedalam em segurança ao lado de um ônibus híbrido na Polônia.
FONTE:
WrS.tm.pl, Flickr

ÔNIBUS ELÉTRICOS ESTÃO MOVENDO CIDADES

O seu município está pronto?

Trace o caminho para incluir ônibus elétricos movidos a bateria em sua malha de transporte

BENEFÍCIOS DA ELETRIFICAÇÃO DO SISTEMA:

- Sem emissões de poluentes
- Viagens mais confortáveis e silenciosas
- Menor manutenção
- Ciclo de vida mais econômico

Realização ITDP

Apoio iCS

1 PLANEJAMENTO

- Elabore contratos de operação de até 10 anos para garantir a qualidade do serviço, estabelecer maior competitividade e alinhamento com a legislação ambiental vigente;
- Separe os contratos de gestão e operação dos veículos e/ou garagens dos contratos de posse para otimizar a operação e aprimorar a qualidade;
- Garanta que os contratos apresentem obrigatoriedades e incentivos à utilização de novas tecnologias por meio de metas, bônus, sanções ou multas;
- Realize testes em corredores convencionais e em BRTs para monitorar o desempenho e estruturar um plano para implementação em escala;
- Estruture acordos para baratear as tarifas elétricas com as companhias de energia e no mercado livre de energia para reduzir os custos de operação.

2 FINANCIAMENTO

- Identifique os modelos de financiamento existentes para a infraestrutura, veículos e baterias com diferentes entidades financeiras, bancos e outros investidores interessados;
- Garanta que os custos de aquisição não sejam repassados para os usuários através do valor da tarifa;
- Planeje o financiamento considerando a economia operacional ao utilizar veículos elétricos em longo prazo, o ciclo de vida da bateria e futuras atualizações tecnológicas;
- Pesquise e aplique ao financiamento acordado potenciais subsídios e acordos para a tributação de combustíveis a diesel e para redução de taxas para veículos elétricos.

3 OPERAÇÃO

- Monitore a operação dos ônibus e da bateria em diferentes rotas, considerando as condições de elevação, clima, variação topográfica e prioridade viária;
- Assegure-se das necessidades elétricas da frota e garanta a compatibilidade com o sistema elétrico;
- Realize treinamentos sobre as novas tecnologias com condutores e técnicos de manutenção e operação;
- Otimize as rotas para melhorar o serviço e maximizar a carga da bateria considerando a autonomia dos veículos (200-300 km);
- Garanta que os veículos utilizem rotas que evitem engarrafamentos, de modo a otimizar o uso da bateria;
- Envolva a população no planejamento das rotas e garanta que a sua revisão não traga impactos negativos aos usuários.

4 CARREGAMENTO

- Padronize os equipamentos do sistema para conectarem-se à rede elétrica;
- Reorganize o espaço das garagens para permitir um melhor carregamento;
- Instale pontos de carregamento bem localizados em relação às rotas e à infraestrutura da rede elétrica;
- Otimize e garanta o carregamento da bateria em local coberto e arejado;
- Garanta uma fonte de energia estável e sustentável, considerando reservas para os casos de queda de energia;
- Contate o fabricante e planeje o descarte da bateria. Esta pode ser utilizada como fonte para a infraestrutura de recarga abastecimento geral.

5 MANUTENÇÃO

- Defina as atividades de manutenção de cada ator envolvido na operação, desde operadores a empresas de energia elétrica;
- Treine os funcionários e motoristas envolvidos na manutenção dos veículos, das baterias e da infraestrutura de carregamento;
- Considere a inclusão de requisitos adicionais de gerenciamento de software em comparação com as frotas tradicionais.

6 SUPORTE

- Implemente políticas de gestão de demanda de veículos individuais motorizados para incentivar o uso do transporte público;
- Estabeleça padrões de desempenho e monitoramento dos contratos;
- Divulgue as mudanças e os benefícios da nova tecnologia ao longo de todo o processo;
- Integre as rotas de ônibus a zonas de baixa emissão planejadas e existentes;
- Integre o sistema de ônibus à mobilidade a pé e por bicicleta.

VISITE ITDPBRASIL.ORG PARA MAIS INFORMAÇÕES SOBRE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO CARBONO.

油一滴公交广告

INTRODUÇÃO

PÁGINA AO LADO
Uma mulher caminha ao lado de um ônibus elétrico e de bicicletas compartilhadas (sem estação, ou dockless) em Zhengzhou, China.
FONTES:
Commons. Windmemories, CC BY-SA 4.0, Wikimedia

1

Os ônibus elétricos têm um enorme potencial para melhorar os sistemas de transportes urbanos. A rápida expansão da adoção de BEBs sinaliza um crescente interesse por essa tecnologia como meio de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade de vida urbana. As cidades precisam eletrificar os ônibus, já que mais pessoas ao redor do mundo dependem de ônibus que de qualquer outro modo de transporte público. Os ônibus elétricos a bateria estão crescendo em popularidade e escala devido a uma série de evoluções, tais como:

- **Maior autonomia,** à medida que evoluem as tecnologias de baterias e melhoram as práticas de condução, carregamento e manutenção;
- **Custos iniciais decrescentes,** à medida que a indústria realiza economias de escala;
- **Tomadas de decisão mais bem embasadas,** com o aumento da disponibilidade de dados e boas práticas sobre ônibus elétricos;
- **Melhor compreensão sobre como usar as tecnologias de BEBs,** à medida que mais cidades conduzem projetos-piloto em contextos geográfica e economicamente diversos; e
- **Mais oportunidades de financiamento,** mediante fundos de apoio e mecanismos de financiamento inovadores.

Várias cidades, de Shenzhen a Santiago, já aumentaram com sucesso o número de BEBs em suas frotas de ônibus. Os ônibus elétricos representam um segmento crescente do mercado de veículos elétricos em todo o mundo. Embora a presença de BEBs venha crescendo na Europa, na América Latina e na América do Norte, as maiores frotas de ônibus elétricos encontram-se principalmente na China[1]. Contudo, esse cenário está mudando rapidamente: por exemplo, os ônibus elétricos representavam apenas 1,2% do total das frotas europeias em 2013[2], mas a expectativa é que esse número alcance 35% em 2025 e 52% em 2050[3]. Em abril de 2020, a Índia tinha cerca de 400 ônibus elétricos, e outros 1.650 já haviam sido contratados e pagos[4]. Na América Latina, os prefeitos de muitas cidades importantes — entre as quais Buenos Aires, Cidade do México, Rio de Janeiro e Santiago — comprometeram-se a zerar suas emissões líquidas até 2050. Ademais, a Cidade do México e Quito prometeram adquirir apenas ônibus elétricos de 2025 em diante[5]. Atualmente, Santiago tem a maior frota de ônibus elétricos fora da China. No entanto, Bogotá acaba de confirmar um contrato com a BYD para adquirir 1.002 ônibus elétricos a bateria até 2022 (chegando a um total de mais de 1.400 BEBs), e São Paulo planeja adotar 2.600 ônibus elétricos até o final de 2021[6][7][8].

Até 2025, 35% dos ônibus na Europa e 39% ao redor do planeta serão elétricos.
Em 2040, 67% dos ônibus urbanos em todo o mundo serão elétricos.[9][10]

1 Xu et al. 2019. Carbon Asset of Electrification: Valuing the Transition from Fossil Fuel-Powered Buses to Battery Electric Buses in Beijing.
2 UITP. 2016. ZeEUS eBus Report: An Overview of Electric Buses in Europe.
3 UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.
4 pManifold, March 2020 (presentation). Shifting the Gears—Towards Electric Buses: Basics of e-Buses—the Relevance and Possibilities.
5 Edwards et al. 2019. Charging Ahead: The Growth of Electric Car and Bus Markets in Latin American Cities.
6 BYD Motors LLC. 2021. BYD Wins Largest Pure-Electric Bus Order Outside of China.
7 Comunicação pessoal, ITDP Brasil, março de 2021.
8 Sustainable Bus. 2021. BYD in Colombia, the Awarding of a 1,002 units Tender for Transmilenio (Bogotá).
9 Corporação financeira (IFC, World Bank). 2020. Electric Buses: Why Now?
10 Sustainable Bus. 2020. Electric Bus, Main Fleets, and Projects Around the World.

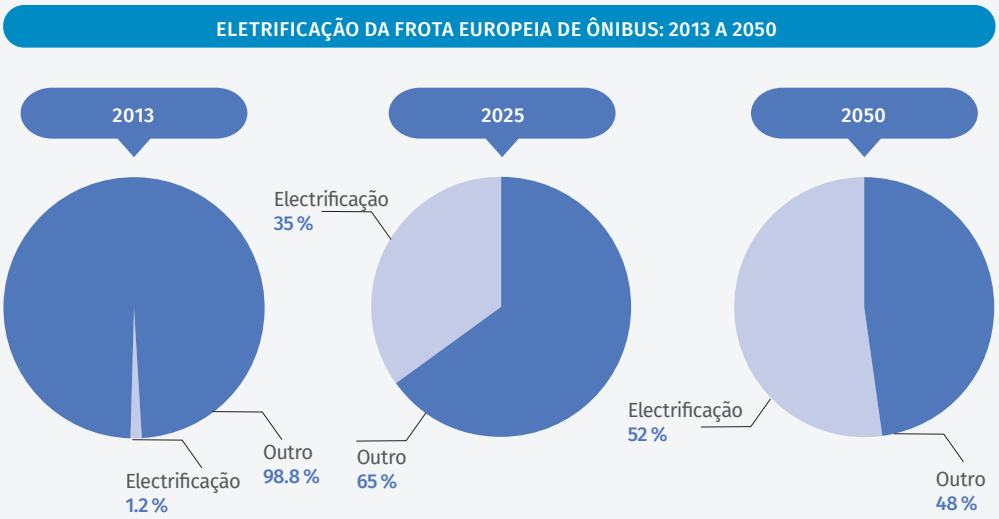


FIGURA 1
Embora os ônibus elétricos representassem apenas 1,2% de todas as frotas de ônibus europeias em 2013, a expectativa é que esse número chegue a 35% em 2025 e 52% em 2050.

Além da implantação, a localização da produção é desigual, com muitos dos principais fabricantes de ônibus e baterias sediados na China. Entre as empresas chinesas, a Yutong e a BYD são as mais bem-sucedidas na fabricação de ônibus elétricos para mercados externos, como os EUA, a América Latina e a Europa[11] [12]. Em geral, há uma tendência rumo à fabricação regional: a empresa Proterra, com sede nos Estados Unidos, e a New Flyer, com sede no Canadá, vêm implantando ônibus em cidades americanas. Esse foco na produção local se deve, em parte, a políticas nacionais, como a exigência de *"Buy America"* nos Estados Unidos [13]. Da mesma forma, por meio de um projeto-piloto de 2019, Jacarta adquiriu seus ônibus da empresa indonésia PT Mobil Anak Bangsa, bem como da BYD[14]. A empresa holandesa VDL Bus & Coach produziu ônibus elétricos principalmente para cidades holandesas e alemãs[15].

À medida que a tecnologia continua a se difundir e se tornar mais acessível, os BEBs podem oferecer uma solução oportuna para as cidades que buscam atingir as metas sociais e ambientais na próxima década e depois. Os benefícios dos BEBs incluem a redução das emissões de gases de efeito estufa e da poluição sonora e atmosférica, bem como um maior conforto para os passageiros[16]. As cidades que assinaram a Declaração de Ônibus Limpos do C40 — como, por exemplo, Cidade do Cabo, Jacarta, Los Angeles, Rio de Janeiro e Cidade do México — comprometeram-se a adquirir apenas ônibus com emissão zero de 2025 em diante[17]. A eletrificação dos ônibus é uma estratégia importante para cumprir as metas climáticas em áreas urbanas.

Passageiros aguardam para embarcar em um ônibus noturno em Shanghai, China.
FONTE: ruich_whx, Flickr.

11 ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.
12 Deng et al. 2019. A Survey on Electric Buses—Energy Storage, Power Management, and Charging Scheduling.
13 Congressional Research Service. 2018. Buy America and the Electric Bus Market.
14 Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2019. World's Largest Public Bus System Begins Transition to Electric Vehicles.
15 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Toward Cleaner Air and Lower CO2.
16 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
17 C40 Cities, n.d. Fossil Fuel Free Streets Declaration.

Diversas cidades — como Cidade do Cabo, Jacarta, Los Angeles, Rio de Janeiro e Cidade do México — comprometeram-se a adquirir apenas ônibus com emissão zero a partir de 2025.

Embora um número crescente de cidades tenha implantado sistemas de BEBs, há uma série de barreiras para sua adoção. Alguns dos desafios são: apoio político; alto custo; confiabilidade da autonomia (ou seja, a distância que um ônibus elétrico consegue percorrer varia em condições instáveis); preocupações com novas tecnologias; falta de dados operacionais, novas parcerias e investimentos em infraestrutura; atrasos na fabricação; e suporte dos fornecedores. Muitos desses desafios são comuns para novas tecnologias de transportes e diminuirão à medida que as frotas aumentarem, os dados se tornarem mais abrangentes e os custos de aquisição diminuírem.

ÔNIBUS MOVIDOS A NOVAS FORMAS DE ENERGIA EM 36 IMPORTANTES CIDADES CHINESAS, 2018

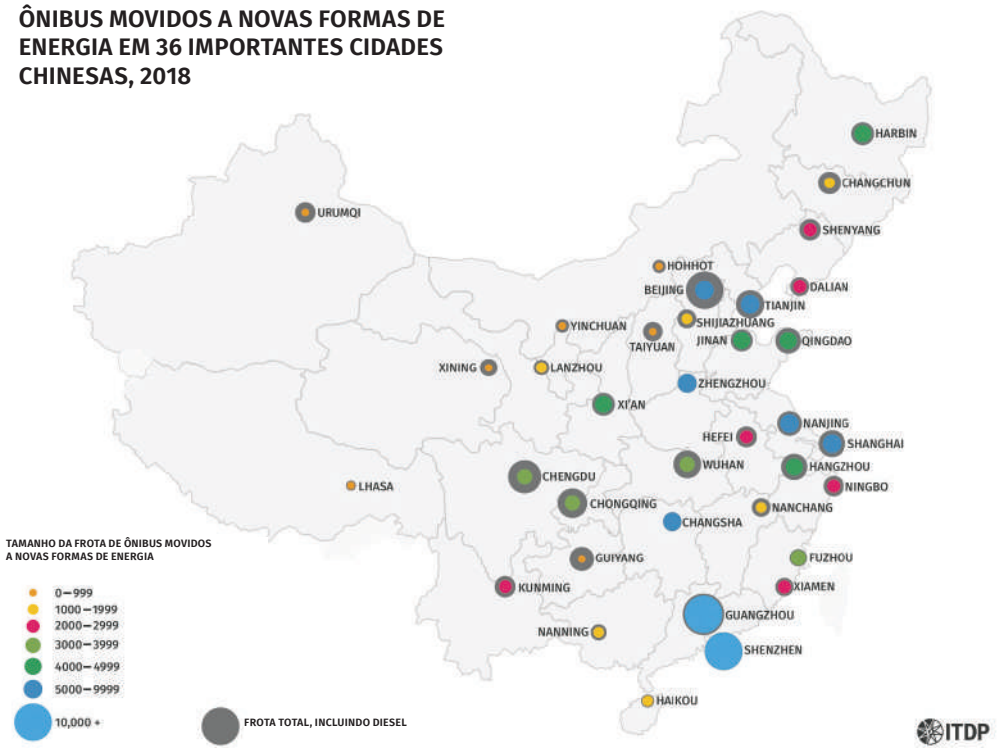


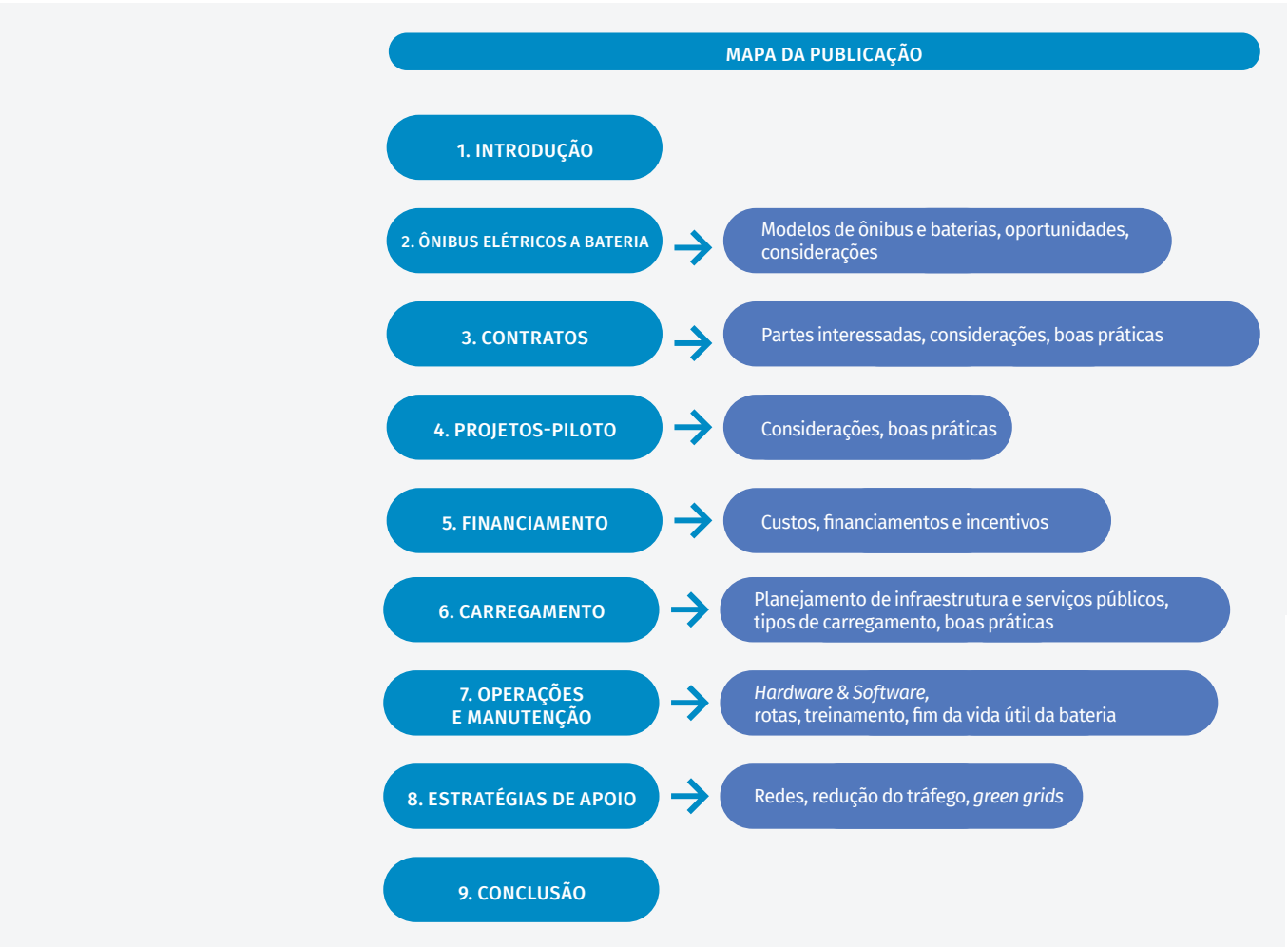
FIGURA 2
Em geral, a China ainda lidera a transição para novos ônibus elétricos, inclusive BEBs, ônibus com células de combustível de hidrogênio, trólebus e ônibus elétricos híbridos. Ao se considerarem apenas os ônibus elétricos a bateria, a China tinha 170 mil BEBs em 2015, ao passo que o total global era de aproximadamente 173 mil. Em 2018, cerca de 421 mil dos 425 mil ônibus elétricos em todo o mundo estavam localizados na China; no mesmo ano, a Europa tinha cerca de 2.250 desses veículos, e os Estados Unidos, cerca de 300.

1.1
SOBRE ESTA PUBLICAÇÃO

Este relatório concentra-se especificamente em ônibus elétricos a bateria (BEBs). Outros tipos de ônibus elétricos, como trólebus e ônibus elétricos híbridos, não são apresentados aqui. O motivo principal desse foco é o fato de ainda não termos muitos conhecimentos sobre essa nova tecnologia, que vem se expandindo rapidamente. Poucos BEBs passaram por um ciclo de vida completo, e boas práticas inovadoras surgem com muita frequência. Os BEBs estão se expandindo rapidamente e já dominam o mercado de ônibus elétricos (representando mais de 75% dos ônibus elétricos na China, incluindo híbridos, elétricos e de célula de combustível). Nosso foco em BEBs deriva especificamente dessa rápida adoção, especialmente nas cidades em que o ITDP trabalha em quatro continentes, bem como da crescente predominância dessa sobre outras tecnologias energéticas modernas, como ônibus de célula de combustível de hidrogênio. A tecnologia de BEBs e sua aplicação estão em constante evolução, e este guia avalia o cenário atual e identifica as boas práticas emergentes para oferecer recursos a qualquer cidade que esteja pensando em embarcar na transição para BEBs.

A primeira seção examina os benefícios dos impactos da eletrificação de ônibus no setor de transporte sustentável em relação a acesso; meio ambiente; equidade; eficiência; e segurança e saúde. Esses benefícios são, então, contextualizados para dar ao leitor uma visão ampla da importância e de outras questões associadas à implementação de BEBs. As seções seguintes tratam de cada um dos principais aspectos da transição rumo a uma frota de ônibus elétrica, tais como os diferentes modelos de ônibus e baterias; os contratos para projetos-piloto de BEBs; os mecanismos de custeio e financiamento; a infraestrutura e formas de carregamento; as operações e a manutenção; e as estratégias de apoio.

Vale notar que a adoção e implantação de ônibus elétricos a bateria continuam a evoluir rapidamente. Portanto, embora os números e dados fornecidos sejam atuais no momento do lançamento desta publicação, o foco principal é o marco mais amplo que deve nortear a tomada de decisões para a adoção de ônibus elétricos a bateria.



1.2
METODOLOGIA

O ITDP analisou e estudou cerca de 200 documentos, entre os quais relatórios, artigos, materiais educacionais, materiais de apoio e literatura relevante (acadêmica, cinzenta ou revisada por pares) relacionados a BEBs, à eletrificação da frota pública e à eletricidade (geração, infraestrutura e redes). Em cada tópico, revisamos os avanços mais recentes da literatura e as contribuições dos principais especialistas internacionais. Além disso, o documento baseia-se em informações reais sobre projetos-piloto e frotas que incluem, entre outros, projetos envolvendo escritórios regionais do ITDP, nos quais a pesquisa é baseada na participação em vários estágios da implementação de sistemas de BEBs.

Passageiros conversam em um ônibus em Toronto.
FONTE : NACTO, Flickr.

1.3
OPORTUNIDADES E CONSIDERAÇÕES RELATIVAS A ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA

A transição para ônibus elétricos a bateria oferece benefícios ambientais e sociais significativos em áreas urbanas, tais como a redução das emissões locais e de gases de efeito estufa, da poluição sonora e da poluição atmosférica, além de proporcionar mais conforto para os passageiros[18 19]. Analisamos os benefícios e considerações relativos a BEBs em quatro categorias[20]: Meio ambiente; Segurança e saúde; Eficiência; e Equidade. Os benefícios e as desvantagens de cada categoria são examinados nos parágrafos a seguir. Não incluímos o Acesso, pois ele é menos afetado pela transição rumo à eletrificação que as outras metas de transporte sustentável.

MEIO AMBIENTE

Os benefícios ambientais costumam ser a principal motivação para eletrificar as frotas públicas — e com bons motivos. Embora os ônibus urbanos representem apenas 1% dos veículos rodoviários em todo o mundo, eles realizam aproximadamente 1,5 bilhão de viagens por dia e são responsáveis por um quarto das emissões de carbono negro do transporte rodoviário[21 22]. As emissões ao longo da vida útil dos ônibus (às vezes chamadas de emissões do poço à roda, ou WTW, na sigla em inglês) podem ser divididas em emissões do poço ao tanque (WtT, na sigla em inglês) e do tanque à roda (TtW, na sigla em inglês). As primeiras representam as emissões geradas na fabricação de ônibus e de combustíveis ou energia para movê-los, ao passo que as últimas representam as emissões da operação em si. A figura 3 abaixo compara as emissões WTW de ônibus a diesel e ônibus elétricos. A maioria das emissões dos BEBs deriva de sua fabricação e da produção da energia para movê-los, ao passo que os ônibus a diesel e GNC têm emissões em todo o processo WTW e usam a energia de forma menos eficiente. Como tal, os BEBs reduzem as emissões por meio de um uso mais eficiente da energia (portanto, menos energia precisa ser produzida no estágio do poço ao tanque) e de emissões insignificantes do tanque à roda (TtW).

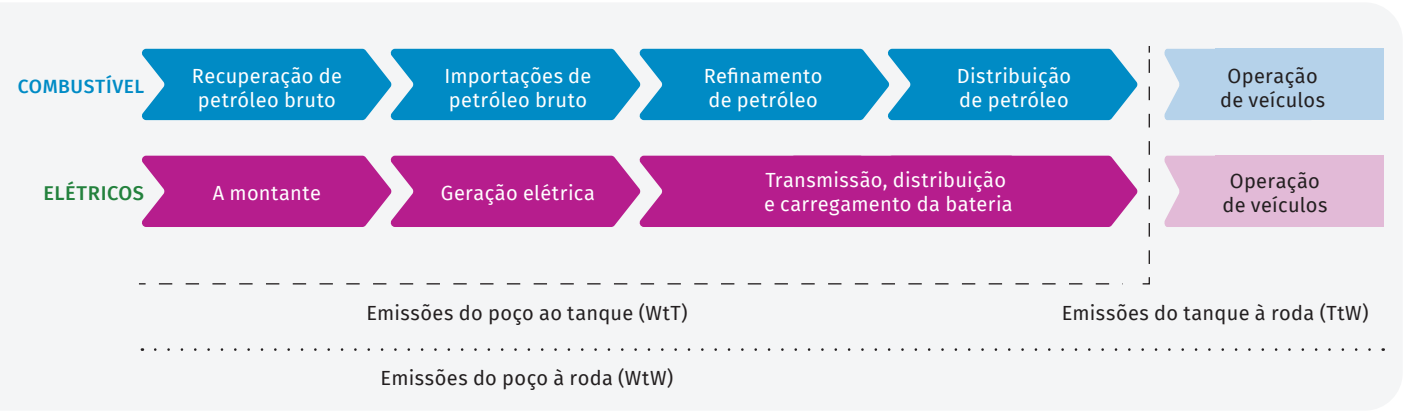


FIGURA 3
Detalhamento das emissões do poço à roda de veículos movidos a combustíveis fósseis e elétricos.
FONTE:
Adaptado de Jwa & Lim, 2017. Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-ion Battery Electric Bus and Diesel Bus From Well to Wheel.

A escala potencial de mitigação de emissões por meio da eletrificação é imensa em comparação às operações normais a diesel, principalmente nos países em que as redes elétricas são alimentadas por fontes renováveis. Ao longo de 12 anos de vida útil, usar um ônibus elétrico em vez de um ônibus a diesel pode reduzir as emissões operacionais em 1.690 toneladas de carbono e 10 toneladas de óxidos de nitrogênio[23 24]. Em média, considerando a vida útil dos veículos a bateria nos EUA, eles emitem 33% menos emissões de GEEs, 93% menos monóxido de carbono e 32% menos carbono negro que os veículos com motor de combustão interna[25]. Esses dados variam consideravelmente com base na geração de eletricidade local e no contexto climático.

18 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
19 Nordelof et al. 2019. Life Cycle Assessment of City Buses Powered by Electricity, Hydrogen Vegetable Oil, or Diesel.
20 Based on the sustainable transportation system goals outlined in High Volume Transport Programme. 2020. State of Knowledge Final Report on Urban Transport. Access was not included, as there is limited evidence showing that electrification of buses would increase urban access.
21 Three revolutions in urban transportation: How to achieve the full potential of vehicle electrification, automation, and shared mobility in urban transportation systems around the world by 2050. Unpublished data. 2017.
22 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-free Urban Bus Fleets in 20 Megacities.
23 Embora existam vários métodos para medir as emissões de GEEs, constatamos que o método do poço à roda (WTW) é o mais adequado, pois divide as emissões em dois estágios distintos: do poço ao tanque (WtT), que analisa as emissões desde a produção até a distribuição dos combustíveis; e do tanque à roda (TtW), que mede as emissões produzidas durante a operação.
24 Sierra Club, n.d. Zero Emission Bus Overview.
25 Congressional Research Service. 2020. Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles.

Já estão sendo realizados avanços rumo a reduções significativas das emissões. O Grupo de Cidades C40 estima que, após as 26 cidades signatárias da Declaração de Ônibus Limpos substituírem 75% de suas frotas a diesel por veículos elétricos, haverá uma redução de 2,35 milhões de toneladas nas emissões de gases de efeito estufa por ano[26]. Nos EUA, a substituição de todos os ônibus urbanos movidos a diesel por ônibus elétricos poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 2 milhões de toneladas por ano[27]. Na América Latina, a substituição da aquisição anual de ônibus convencionais por BEBs poderia reduzir em mais de 5,7 milhões de toneladas as emissões de CO2 a cada ano, e em 124 mil toneladas de óxidos de nitrogênio[28]. A tabela abaixo apresenta dados sobre a redução de emissões em projetos-piloto de ônibus elétricos conduzidos na Europa.

FIGURA 4
Dados de projetos-piloto de ônibus elétricos ZeEUS adaptados pela UITP em cidades selecionadas na Europa[29]. Alguns projetos-piloto somente dispunham de dados para determinado período, e não para toda a duração do projeto. Por exemplo, em Bonn, na Alemanha, o projeto-piloto durou de abril de 2016 a março de 2018, mas os dados coletados vão de março de 2016 a dezembro

Cidade, país	Intervalo de dados do projeto-piloto*	Número de ônibus	Quilômetros percorridos	Emissões de CO^2 evitadas (kg^2)	Emissões evitadas por 1 mil km percorridos (kg^2/1,000 km)
Bonn, Alemanha	Março 2016–Dezembro 2017	6	246,674	99,809	404.62
Barcelona, Espanha	Agosto 2014–Agosto2017	2	163,260	89,441	547.84
Eindhoven, Países Baixos	Dezembro 2016–Janeiro 2018	43	3,417,331	1,167,054	341.51
Münster, Alemanha	Novembro 2016–Agosto 2017	5	118,012	49,047	415.61
Pilsen, República Tcheca	Maio 2015–Abril 2017	2	46,980	6,149	130.89

Embora a conversão para ônibus elétricos diminua as emissões de gases de efeito estufa, a redução depende dos recursos e da capacidade da rede elétrica local. Em particular, as avaliações do ciclo de vida útil dos ônibus elétricos que rastreiam as emissões do poço à roda demonstram que a redução das emissões de gases do efeito estufa é maior quando as fontes de energia elétrica são mais limpas[30 31]. Se as redes elétricas forem alimentadas com energias não renováveis que gerem emissões excessivas, os ônibus elétricos híbridos ou mesmo a diesel podem ter um desempenho melhor que os ônibus elétricos a bateria[32 33]. Como tal, embora sejam claros os benefícios dos veículos elétricos, é fundamental que as redes elétricas também se tornem mais verdes, especialmente nos países que ainda usam o carvão como fonte de energia. Isso varia conforme a localização geográfica. Em Joanesburgo, na África do Sul, a modelagem para ônibus elétricos a bateria demonstrou que as emissões seria reduzidas por meio da adoção de BEBs em comparação com os ônibus a diesel em uso, mesmo se fosse mantida a rede atual de geração a carvão[34]. No entanto, essa modelagem também indicou que ônibus híbridos a petróleo bruto Euro VI GNC e Euro VI reduziriam as emissões de forma semelhante. Além disso, em muitas cidades chinesas onde as redes de eletricidade são parcialmente alimentadas por fontes não renováveis, alguns estudos constataram que haveria benefícios ambientais e redução das emissões se as frotas de ônibus fossem eletrificadas[35]. Os BEBs reduzem as emissões de GEEs de 30% a 40%, mesmo quando a rede permanece inalterada[36].

26 C40 Cities. 2015. C40 Cities Clean Bus Declaration.
27 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
28 Abramskiehn & Clark (The Lab). 2018. Pay as You Save for Clean Transport.
29 UITP, n.d. ZeEUS Demonstrations.
30 Cooney et al. 2013. Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses.
31 Nordelof et al. 2019. Life Cycle Assessment of City Buses Powered By Electricity, Hydrogen Vegetable Oil or Diesel.
32 Nordelof et al. 2019. Life Cycle Assessment of City Buses Powered By Electricity, Hydrogen Vegetable Oil or Diesel.
33 Grauers et al. 2020. Total Cost of Ownership Model and Significant Cost Parameters for the Design of Electric Bus Systems.
34 Posada (ICCT). 2020. Development of a Strategy to Accelerate the Adoption of Soot-Free Buses in Johannesburg, South Africa (presentation).
35 Shen et al. 2014. Current and Future Greenhouse Gas Emissions Associated with Electricity Generation in China: Implications for Electric Vehicles.
36 Banco Asiático de Desenvolvimento. 2018. Sustainable Transport Solutions: Low-Carbon Buses in the People's Republic of China.

Embora os BEBs reduzam as emissões e o consumo de recursos, há algumas considerações ambientais. Tal como acontece com outras tecnologias de bateria, a mineração extrativa é um elemento necessário para a fabricação de baterias. Os veículos elétricos (VEs) ainda produzem poluição do ar e gases de efeito estufa ligados à fabricação (emissões WTP), principalmente de baterias[37]. As baterias também podem gerar impactos negativos para o meio ambiente se forem descartadas de maneira inadequada. Atualmente, ainda não existe um processo de descarte ou reciclagem de baterias que seja suficientemente claro e difundido. No entanto, ao contrário dos ônibus movidos a diesel, GNC e outros combustíveis, a maioria das emissões dos BEBs vem da produção e da recarga dos ônibus, e não de sua operação[38]. Logo, é possível reduzir a exposição direta da população nas áreas urbanas mais densamente povoadas. Esforços vêm sendo envidados, inclusive por meio de novas políticas, para limpar a fabricação, a reciclagem e o descarte dos componentes de BEBs.

O transporte rodoviário aumenta, de forma significativa e perigosa, a poluição atmosférica em cidades ao redor do planeta
FONTE: Max Chen, Flickr.

37 Cooney et al. 2013. Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses.
38 Nordelof et al. 2019. Life Cycle Assessment of City Buses Powered by Electricity, Hydrogen Vegetable Oil, or Diesel

ATENÇÃO ESPECIAL AO FUTURO: MINERAÇÃO E EXTRATIVISMO

Uma consideração fundamental durante a implementação de BEBs está ligada à fonte e ao método de produção dos materiais usados nas baterias, bem como a seu descarte. Assim como o petróleo e o gás são indústrias extrativas com impactos significativos a montante, os ônibus movidos a bateria também terão impactos a montante. À luz da crescente degradação ambiental e da maior conscientização sobre a justiça ambiental, as cidades devem considerar os efeitos a montante da produção de baterias de ônibus elétricos.

O desenvolvimento de veículos elétricos, especialmente BEBs, vem sendo aprimorado por avanços rápidos na tecnologia de baterias. Antes da ampla adoção de baterias recarregáveis de lítio na década de 1990, as baterias normalmente perdiam sua carga rapidamente e apresentavam complicações de recarga. Graças à vida útil mais longa e ao carregamento mais rápido, as baterias de íon de lítio têm sido adotadas em uma vasta gama de novas tecnologias. A produção de baterias de íon de lítio deve triplicar até 2025, assim como a mineração extrativa para produzi-las[39]. A instabilidade da cadeia de suprimentos, inclusive no que diz respeito aos importantes minerais extraídos de países de baixa renda e média, representa um risco para a segurança dos trabalhadores e um ônus sociopolítico desigual para os países menos abastados, o meio ambiente local e a produção de Ves. Isso tem ramificações ambientais e sociopolíticas globais, com tensões políticas crescentes entre os países que se apressam para cumprir suas metas ambientais.

A extração mineral para a produção de baterias impacta a paisagem geológica do planeta e está ocorrendo em um ritmo cada vez maior. Embora o lítio possa ser extraído da rocha dura, na grande maioria dos casos (87%) ele é extraído da água salina (salmoura)[40]. É um processo longo e trabalhoso (estendendo-se por até 18 meses) que requer grandes quantidades de água e afeta negativamente o solo e as fontes de água na região[41]. A maior parte do lítio produzido no mundo (75%) vem do "triângulo do lítio": Chile, Argentina e Bolívia[42]. O Salar de Atacama, no Chile, tem a maior concentração de salmoura, com quase 30% das fontes de lítio conhecidas no mundo, e respondeu por 65% do mercado mundial de lítio em 2009[43]. Nos Estados Unidos, um novo ímpeto para minerar lítio em Nevada (e em vários outros estados) enfrenta resistência de comunidades indígenas, grupos de defesa ambiental e trabalhadores agrícolas locais que protestam contra o uso de enormes quantidades de água para a mineração em um ambiente que, a cada ano, vem se tornando mais seco[44].

A mineração de cobalto, um componente-chave das baterias de íon de lítio, atraiu a atenção internacional devido a preocupações com a segurança e o tratamento dos trabalhadores. A República Democrática do Congo, a fonte de mais de dois terços da produção global de cobalto, enfrenta críticas por supostamente usar trabalho infantil e ferramentas de mineração inadequadas para remover o mineral. Tanto no caso do lítio quanto no do cobalto, há diversas preocupações ligadas à justiça ambiental e à equidade. Os países de renda média e baixa — e especialmente as populações mais pobres desses países, que sofrem mais diretamente os impactos sanitários, econômicos e ambientais — são forçados a arcar com um ônus indevido. Os problemas de equidade tendem a crescer se não prestarmos a devida atenção ao aprimoramento dos métodos de extração à medida que aumentar a produção de baterias de íon de lítio. As crescentes preocupações em torno dos impactos ambientais, sociopolíticos e sanitários da extração e produção de baterias de lítio estão resultando em crescentes esforços para diversificar os métodos. Diversas empresas estão desenvolvendo processos alternativos, com foco especial na reutilização. Um exemplo é a "mineração urbana" ou reciclagem de baterias de íon de lítio usadas para montar novas baterias[45].

As cidades devem considerar os impactos de longo prazo e identificar estratégias para melhorar a produção e fornecimento de baterias. As opções atuais para minerais como lítio e cobalto geram sérios impactos de segurança, meio ambiente e saúde, os quais podem se contrapor aos resultados positivos de BEBs se as baterias não forem produzidas e gerenciadas adequadamente.

39 International Finance Corporation (IFC, World Bank). 2020. Electric Buses: Why Now?
40 Congressional Research Service. 2020. Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles (R46420)
41 Institute for Energy Research (IER). 2019. The Environmental Impact of Lithium Batteries.
42 Congressional Research Service. 2020. Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles (R46420)
43 Agusdinata et al. 2018. Socio-Environmental Impacts of Lithium Mineral Extraction: Towards a Research Agenda.
44 Penn and Lipton (NYT). 2021. The Lithium Gold Rush: Inside the Race to Power Electric Vehicles.
45 Shieber & Crichton (Tech Crunch). 2021. DuPont and VC's See Lithium Mining as a Critical Investment for the Electric Future

A eletrificação do transporte tem impacto maior nos locais em que as redes elétricas usam energias renováveis (parque eólico na Tunísia). **FONTE:** World Bank Photo Collection, Flickr.

SAÚDE E SEGURANÇA

Melhorar a qualidade do ar é de extrema importância para a saúde e a segurança em todo o mundo. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição externa seja responsável por 4 milhões de mortes prematuras a cada ano; e 98% das crianças em países de baixa renda e média estão expostas a níveis de material particulado acima das diretrizes da OMS[46] [47]. Na região da Ásia-Pacífico, cerca de 2,3 bilhões de pessoas enfrentam níveis de poluição atmosférica várias vezes superiores àqueles previstos nas diretrizes de qualidade do ar da OMS[48]. Cidades com milhões de habitantes localizadas em vales — como Los Angeles, Cidade do México e Santiago — podem aprisionar a poluição atmosférica por longos períodos de tempo, o que representa sérias ameaças à saúde da população. Reduzir as emissões de veículos com motores de combustão interna (ICE) oferece benefícios claros para o meio ambiente e a saúde, e isso deve ser feito urgentemente.

Na região da Ásia-Pacífico, cerca de 2,3 bilhões de pessoas enfrentam níveis de poluição atmosférica várias vezes superiores àqueles previstos nas diretrizes de qualidade do ar da OMS.

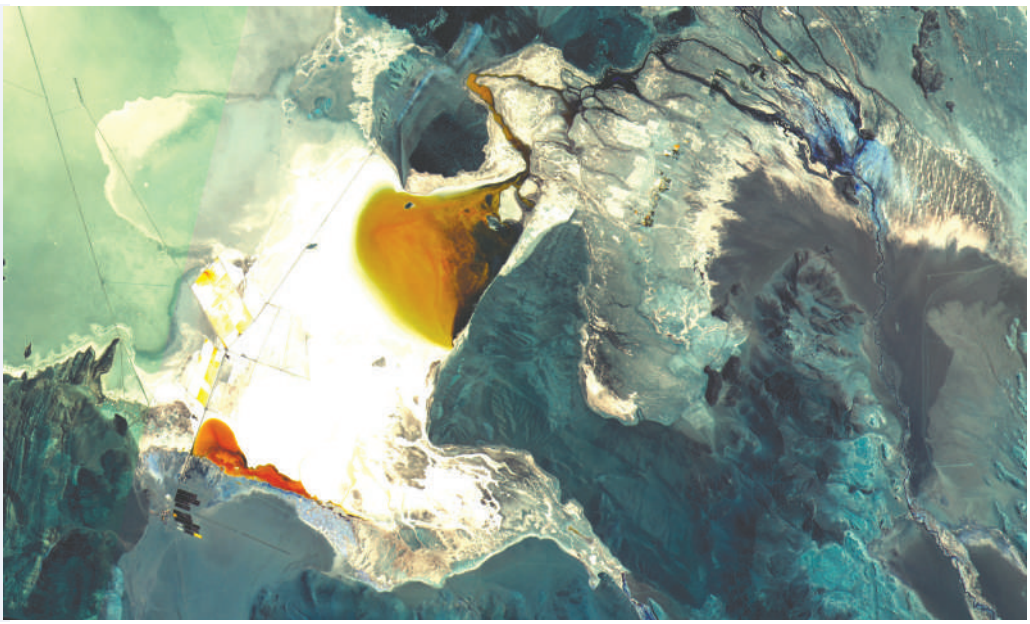


Imagem aérea de mineração de lítio no Salar de Hombre Muerto, Argentina, que faz parte do triângulo do lítio. **FONTE:** Flickr, Coordenação-Geral de Observação de Terra.

46 Organização Mundial da Saúde (OMS), s.d. Air Pollution.
47 Clean Air Fund. 2020. The State of Global Air Quality Funding 2020.
48 Climate & Clean Air Coalition, n.d. Air Pollution Measures for Asia and the Pacific.

As comunidades que eletrificam suas frotas de ônibus melhoram significativamente a qualidade do ar e a saúde/conforto da comunidade com um ar mais limpo, menos poluição sonora e outros benefícios, tais como maior conforto para os passageiros graças às vibrações mais baixas[49]. Ao remover os ônibus ICE, as cidades reduzem as emissões de gases de escape, a poluição por material particulado e o ozônio ao nível do solo[50]. A eletrificação das frotas de ônibus também ajuda a prevenir doenças respiratórias exacerbadas pelo ambiente, como a asma em crianças e adultos[51]. **Os gases de escape do diesel contêm mais de 40 poluentes que podem causar e agravar doenças respiratórias e cardiovasculares, inclusive o câncer[52]** . Bairros de nível socioeconômico mais baixo, em que vivem mais minorias, são, em geral, mais expostos ao ar de baixa qualidade[53]. Isso resulta em **taxas desproporcionalmente altas de doenças respiratórias, como, por exemplo, a asma, em grupos desfavorecidos e de baixa renda[54]**. Além disso, bebês e crianças são particularmente vulneráveis a poluentes, o que afeta a capacidade dos jovens de aprender e se desenvolverem[55]. **A baixa qualidade do ar afeta significativamente o desenvolvimento cognitivo e mental de bebês e crianças, pois eles respiram mais ar por quilograma de peso corporal[56]**. Como tal, melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas é particularmente importante para os grupos mais vulneráveis e marginalizados.

A poluição sonora pode afetar negativamente a saúde humana, causando perda de sono, irritação e efeitos cardiovasculares e psicofisiológicos negativos[57]. Trata-se de um problema particularmente grave em áreas urbanizadas, onde veículos pesados como caminhões e ônibus circulam com mais frequência. Em velocidades mais baixas, a maior parte do ruído dos ônibus é produzida pelos motores, ao passo que, em velocidades mais altas, o ruído é produzido principalmente pelo movimento dos pneus[58]. Os BEBs podem reduzir o ruído dos veículos, especialmente em baixas velocidades, em áreas de alto tráfego de ônibus e em pontos de ônibus[59]. Melhorar a qualidade do ar e do ruído nas cidades por meio da eletrificação é fundamental para promover justiça ambiental e saúde em todos os lugares, beneficiando todos os grupos socioeconômicos, raciais e ocupacionais de todas as idades, gêneros e identidades.

Os ônibus elétricos a bateria têm muitos benefícios positivos para a segurança e a saúde, com poucas desvantagens. No entanto, é importante considerar o treinamento em questões de segurança para os operadores e equipes de manutenção, de forma a evitar acidentes com a infraestrutura de carregamento. Além disso, ônibus mais silenciosos podem aumentar o risco para pedestres e ciclistas, que podem não ouvir os veículos se aproximando, e é importante considerar essa questão também. Sinalização e visibilidade adequadas dos ônibus são, portanto, necessárias para os veículos elétricos. É possível sinalizar a presença de BEBs com sons artificiais.

Pedestres caminham em uma calçada larga e segura nas proximidades de um ponto de ônibus. **FONTE:** ITDP India.

49 Varga et al. 2016. Electric and Hybrid Buses for Urban Transport: Energy Efficiency Strategies.
50 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
51 Miller et al. 2018. Electric Buses: Clean Transportation for Healthier Neighborhoods and Cleaner Air.
52 Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2013. Diesel Exhaust/Diesel Particulate Matter. In Sierra Club, n.d. Zero Emission Bus Overview.
53 Sierra Club, n.d. Zero Emission Bus Overview.
54 Landrigan et al. 2010. Environmental Justice and the Health of Children.
55 Organização Mundial da Saúde (OMS). 2018. Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air.
56 Fundação Bernard van Leer. 2019. An Urban95 Starter Kit— Ideas for Action.
57 Organização Mundial da Saúde Europa, s.d. Noise.
58 Volvo Buses. 2019. How Electric Buses Can Address Noise Pollution.
59 Laib et al. 2018. Modelling Noise Reductions Using Electric Buses in Urban Traffic: A Case Study from Stuttgart, Germany.

Poluição sobre a Cidade do México. A eletrificação do transporte permite a redução da poluição atmosférica e de seus efeitos letais.
FONTE: Ilai A. Magun, Flickr.

A poluição atmosférica localizada oferece graves riscos à saúde humana, inclusive na forma de doenças respiratórias e cardiovasculares.
FONTE: FIA Foundation (ITDP Africa library), Flickr.

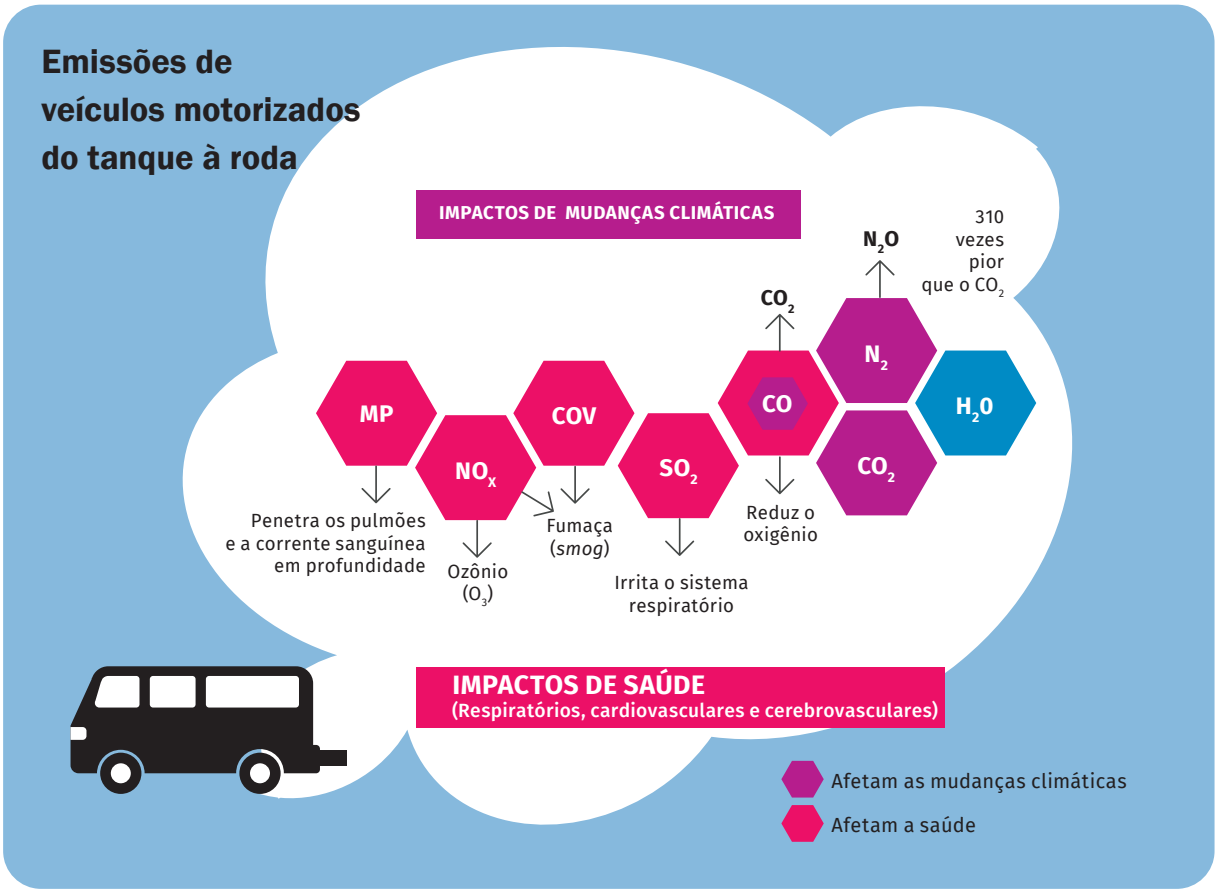


FIGURA 5
Emissões de ônibus que afetam as mudanças climáticas e a saúde humana. É importante observar, no caso do material particulado (MP), que a maior parte do MP de combustão vem dos ônibus, ao passo que as principais fontes de MP de abrasão são os carros e motocicletas. Os MPs de combustão têm partículas significativamente menores que os MPs de abrasão, o que os torna ainda mais prejudiciais à saúde .[60] [61]

60 Congressional Research Service. 2020, Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles (R46420).
61 Adheesh et al. 2016. Air Pollution and Economics: Diesel Bus vs Electric Bus.

EFICIÊNCIA

Os ônibus elétricos a bateria podem melhorar a eficiência financeira e de recursos. Substituir veículos a combustíveis fósseis por veículos elétricos é importante para reduzir o consumo de recursos não renováveis, especialmente quando a eletricidade é gerada a partir de fontes limpas. Além disso, os recursos energéticos podem ser usados de forma muito mais eficiente com as operações de ônibus elétricos a bateria, já que os BEBs usam menos energia por quilômetro que os veículos a diesel (ao comparar equivalentes de energia e combustível)[62]. Um estudo de viabilidade conduzido em Monterrey, no México, constatou que, para 50 kWh (energia equivalente a 5 litros de diesel ou 4,5 litros de gás), um ônibus elétrico a bateria poderia rodar 30 km, ao passo que um ônibus a diesel cobriria 12 km, e um ônibus a GNC, 8 km[63]. A economia de energia gerada pelos BEBs resulta de sua maior eficiência na transformação de energia em movimento em comparação aos motores de combustão, que perdem uma quantidade maior de energia na forma de calor.

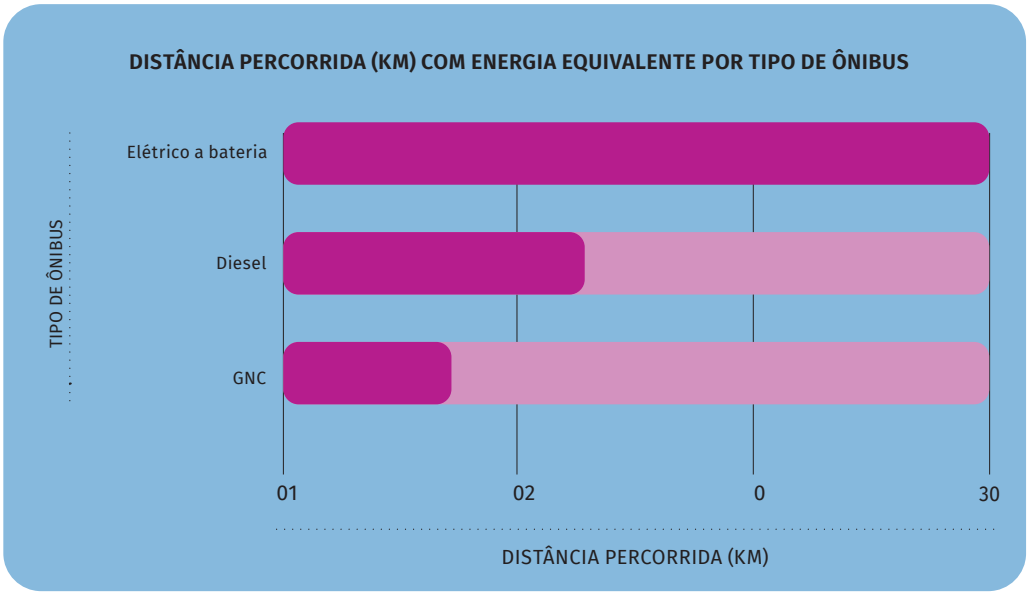


FIGURA 6
Os ônibus elétricos a bateria podem percorrer uma distância maior que os ônibus a diesel e a GNC com uma quantidade equivalente de energia (50 kwh), combustível (5 litros de diesel) e gás (4,5 litros de gás).

Isso também se traduz em maior eficiência financeira dos BEBs em relação aos ônibus a diesel — a transição para BEBs geralmente reduz significativamente os custos de manutenção e combustível[64]. Embora o custo de aquisição dos BEBs possa ser o dobro dos ônibus a diesel, os custos de consumo de energia dos BEBs são cerca de metade dos custos dos ônibus a combustíveis fósseis por quilômetro rodado. Isso se deve, em parte, ao reabastecimento mais barato (nos lugares em que a energia elétrica custa menos que os combustíveis fósseis) e à conversão mais eficiente da energia em movimento. Os custos de manutenção dos BEBs são significativamente menores que os dos ônibus a diesel, pois o sistema de propulsão elétrica não requer a mesma manutenção ou quantidade de peças de reposição que um motor de combustão. Embora as garantias dos ônibus elétricos e/ou a bateria variem em duração, é cada vez mais comum ter esse tipo de cobertura. Essas garantias ajudam a assegurar a competitividade financeira dos BEBs em relação aos ônibus a diesel e a GNC.

Embora os BEBs possam reduzir o consumo de recursos e os custos ao longo de sua vida útil, há considerações sobre a eficiência econômica e do carregamento. Os BEBs dependem de recargas diárias, o que poderia sobrecarregar a rede elétrica de determinada área. Adicionar capacidade à rede pode ser caro e impor desafios logísticos. Além disso, a autonomia das baterias de ônibus nem sempre é consistente (pois depende da temperatura e umidade, entre outros fatores), e a vida útil das baterias de BEBs ainda é altamente variável. Isso dificulta uma previsão exata da economia de energia e dos custos dos BEBs. Quando a autonomia é muito baixa, os custos podem aumentar drasticamente se vários ônibus forem necessários para cobrir determinada rota, que normalmente seria realizada com um único veículo. No entanto, novas tecnologias e boas práticas estão continuamente aumentando a eficiência dos BEBs.

62 Deliali et al. 2020. Transitioning to Zero-Emission Bus Fleets: State of Practice of Implementations in the United States.
63 ITDP México & Ulises Navarro Hernandez, comunicação pessoal, 2021.
64 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.

CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE

O custo total de propriedade (TCO) é o custo de toda a vida útil de um ativo. Inclui os custos de aquisição, infraestrutura, operações (inclusive de carregamento/abastecimento), manutenção (manutenção regular e grandes revisões periódicas ao longo da vida útil), descarte e financiamento. Os elementos do TCO podem variar — algumas cidades e organizações computam a infraestrutura de carregamento e/ou custos de financiamento, ao passo que outras não o fazem[65] [66]. A infraestrutura de carregamento, em particular, pode não ser incluída no custo total de propriedade, visto que o TCO dos ônibus a diesel não inclui o custo da infraestrutura de abastecimento. No entanto, dado que os BEBs muitas vezes exigem a extensão da rede elétrica e a construção de determinada infraestrutura de carregamento que não existia antes da adoção do sistema, pode ser importante para as cidades incluir esses custos para compreender os custos totais ao longo da vida útil (e, especialmente, os custos iniciais) para a adoção de BEBs. Ônibus elétricos a bateria costumam ser significativamente mais caros que outros tipos de ônibus (diesel e GNC), podendo, às vezes, chegar ao dobro do custo de um ônibus a diesel (ver seção V, Custeio, financiamento e modelo financeiro). Embora os BEBs requeiram um grande investimento inicial, eles podem ter TCOs mais baixos que os ônibus tradicionais a diesel ou GNC ao longo de uma vida útil média (10 a 15 anos)[67]. Portanto, ao considerar um marco para calcular o custo total de propriedade de ônibus elétricos a bateria, as cidades e os operadores precisarão equilibrar os custos iniciais de capital mais elevados com as despesas operacionais mais baixas por meio de diferentes abordagens de financiamento e contratação. Todos os projetos de BEBs devem ter como objetivo que o TCO seja o mais próximo possível (ou inferior) ao de um ônibus a diesel ou GNC. Como os modelos de BEBs estão em constante evolução, e como a maioria ainda não concluiu um ciclo de vida completo, não está totalmente claro qual será a duração dos ciclos de vida, principalmente com diferentes tipos de bateria e em diferentes condições.

CATEGORIA	ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Custos de capital *(Aquisição de ônibus, baterias e infraestrutura)*	Entrada/valor financiado	Pagamento inicial, que pode vir de fundos ou verbas existentes. Não inclui os recursos que precisam ser devolvidos.
	Pagamento de empréstimos/ financiamento de dívidas	Pagamento do valor principal e dos juros ao longo do cronograma de empréstimo especificado.
	Valor de revenda	Aplicável se a vida útil do ônibus superar as operações do sistema.
Despesas operacionais (operações e manutenção)	Abastecimento/ carregamento	Custo anual de abastecimento ou carregamento do veículo.
	Outras operações	Custo anual de materiais adicionais necessários para as operações, como líquidos de arrefecimento (refrigerantes).
	Manutenção dos ônibus	Custo anual de manutenção regular dos ônibus.
	Manutenção da infraestrutura	Custo anual de manutenção da infraestrutura de carregamento (tanto na rota quanto nas garagens).
	Revisão dos ônibus	Custos de revisão dos ônibus e baterias, como substituição de baterias com meia vida (BEBs) ou de motores (diesel, híbrido, GNC).
	Descarte dos ônibus	Se a vida útil do ônibus não exceder as operações do sistema, este será o custo de descarte do veículo e de seus componentes.
	Descarte das baterias	Custo de descarte das baterias. A expectativa é que as baterias sejam substituídas durante a vida útil operacional dos ônibus. Se estiverem cobertas por garantia ou por um sistema de descarte designado, os fabricantes podem ser responsáveis pelo descarte.

65 Coorporação Financeira Internacional (IFC, Banco Mundial). 2020. E-Bus Economics: Fuzzy Math?
66 Banco Mundial. 2019. Green Your Bus Ride: Clean Buses in Latin America.
67 Esses estudos costumam ser baseados em modelos, pois o mercado está em constante evolução e muitos modelos ainda não completaram seus ciclos de vida totais. Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.

EQUIDADE

As pessoas marginalizadas geralmente são mais expostas à poluição do ar e sofrem os impactos sociais e sanitários negativos que acompanham tal exposição[68 69 70]. A substituição dos ônibus a diesel por veículos elétricos pode reduzir a poluição sonora local e melhorar a qualidade do ar. A maioria das comunidades de baixa renda depende de deslocamentos a pé, em bicicleta ou em transporte público para sua mobilidade diária: com a redução das emissões locais do transporte público nos bairros onde vivem esses grupos, o meio ambiente melhora para todos — pedestres, ciclistas e usuários de transporte público. Instituir rotas limpas nessas áreas significa melhorar a qualidade do ar e diminuir a poluição sonora para essas comunidades.

Além disso, as comunidades mais pobres costumam apresentar índices mais altos de ferimentos ligados ao trânsito e doenças/complicações de saúde relacionadas às emissões. Priorizar novos recursos de segurança e tecnologias mais limpas para rotas de ônibus nessas áreas ajudaria a resolver essas disparidades[71 72]. Por meio desse processo, as cidades devem aproveitar essas oportunidades para beneficiar as comunidades de baixa renda, em vez de simplesmente repassar a elas o potencial aumento de despesas e os riscos de capital associados à melhoria do transporte público.

Dois desafios de equidade que provavelmente adviriam da adoção de ônibus elétricos precisam ser tratados e evitados. Em primeiro lugar, a concentração da adoção de BEBs em áreas de renda mais alta; e, em segundo, o possível aumento das tarifas como resultado dos custos mais altos de aquisição dos veículos. Em ambas as situações, isso representaria um ônus indevido para os grupos mais vulneráveis nas áreas urbanas, que dependem mais do transporte público para sua mobilidade diária, muitas vezes são mal atendidos pelos destinos e rotas do transporte público e gastam uma porcentagem mais alta de sua renda com mobilidade. Para evitar esses ônus potenciais, é imperativo que os planejadores do sistema considerem a melhor forma de atender a todos os passageiros, especialmente os mais vulneráveis. As tarifas não devem ser aumentadas, visto que o valor das tarifas é uma consideração primordial para muitos usuários de transporte público. Com as grandes mudanças estruturais acarretadas pela eletrificação, há uma oportunidade para que abordemos as lacunas existentes nos serviços de transporte público. Por exemplo, a localização de serviços em áreas acessíveis a populações historicamente carentes de transporte público oferece uma oportunidade para que se crie uma rede de transporte público mais justa. Ver seção VII.II, Planejamento de rotas, para mais informações sobre o planejamento do transporte público voltado para a comunidade.

Em geral, os padrões de deslocamentos de mulheres e homens são diferentes. Elas costumam realizar múltiplas tarefas e, portanto, fazem vários deslocamentos para destinos diversos. Um planejamento holístico exige a inclusão de um grupo diverso de membros da comunidade que representem diferentes níveis de renda, padrões de viagens e interesses. **FONTE:** ITDP Indonesia.

68 Hajat et al. 2015. Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review.
69 Landrigan et al. 2017. *The Lancet* Commission on Pollution and Health.
70 Li et al. 2018. Air Pollution and Environmental Injustice: Are the Socially Deprived Exposed to More PM2.5 Pollution in Hong Kong
71 Nantulya & Reich. 2003. Equity Dimensions of Road Traffic Injuries in Low- and Middle-Income Countries.
72 Martinez et al. 2020. Safe Mobility, Socioeconomic Inequalities, and Aging: A 12-Year Multilevel Interrupted Time-Series Analysis of Road Traffic Death Rates in a Latin American Country.

1.4
OBJETIVOS DE DESEMPENHO, CONSIDERAÇÕES E AÇÕES VISANDO AO SUCESSO

A eletrificação das frotas de ônibus públicos é uma etapa necessária para que sejam criados sistemas de transporte sustentáveis que maximizem os benefícios ambientais, de saúde, segurança, eficiência e equidade. Oito objetivos abrangentes comuns, com considerações e soluções correspondentes, são apresentados a seguir, a saber:

- Autonomia da bateria, tipo de ônibus e modelos de carregamento adequados para a área urbana e a rede existente;
- Infraestrutura bem projetada;
- Rotas e serviços bem planejados;
- Operações de suporte e manutenção;
- Políticas e estratégias de apoio;
- Custeio adequado e mecanismo de financiamento viável,
- Redução significativa das emissões; e
- Comunicação clara e apoio adequado das partes interessadas.

OBJETIVO DO PROJETO	CONSIDERAÇÕES DE PLANEJAMENTO	PRINCIPAIS AÇÕES VISANDO AO SUCESSO	MAIS INFORMAÇÕES
Bateria, autonomia de ônibus e modelos de carregamento adequados para a área urbana	Estimativas inflacionadas da autonomia	Pesquisar as tecnologias mais recentes (ônibus, baterias e carregamento) antes de realizar as aquisições. Comparar os benefícios (por exemplo, maior autonomia) e as desvantagens (por exemplo, custos mais elevados) em relação às tecnologias existentes.	Ônibus elétricos a bateria; Contratos; Carregamento; Projetos-piloto; Destaque sobre o ITDP Brasil
	Clima, condições de tráfego e topografia	Identificar como a demanda por viagens, a topografia e o clima afetarão a vida útil das baterias dos ônibus e as opções de carregamento dos prestadores de serviços públicos.	
	Desafios da cadeia de suprimentos	Testar modelos de ônibus viáveis para todas as rotas e serviços (regulares, BRT e outros.). Realizar testes sob diferentes condições climáticas e topográficas. Coletar dados para usar na transição completa da frota.	
		Vincular os custos (ônibus, baterias) e as garantias vitalícias de desempenho dos ônibus e baterias nos contratos.	
Infraestrutura bem projetada	Infraestrutura mal localizada	Coletar dados-piloto para garantir conexões à rede elétrica e cobertura suficientes para a transição completa da frota. Compreender as vantagens e considerações geográficas locais, inclusive a disponibilidade de terrenos para a implementação de diferentes tipos de infraestrutura de carregamento. Usar essas informações para modelar a infraestrutura.	Projetos-piloto; Trabalho com empresas de eletricidade; Planejamento geral da infraestrutura; Contratos
	Conhecimentos limitados sobre o carregamento de BEBs	Modelar os locais e tipos de infraestrutura de carregamento com os serviços existentes para ver se a infraestrutura existente atende às necessidades do sistema ou como ajustar o plano operacional para reabastecimento.	
	Preocupações com a capacidade da rede	Descrever os requisitos de infraestrutura e garagens nos contratos, bem como quem será responsável (propriedade) e pagará pelas modernizações das garagens de ônibus e outros requisitos de infraestrutura.	
Rotas e serviços bem planejados	Um planejamento da rota deficiente pode levar ao mau desempenho de ônibus e baterias.	Modelar rotas e serviços de ônibus levando em conta a infraestrutura de carregamento. Ajustar o carregamento e os serviços sazonalmente, conforme a necessidade (estendendo o carregamento, ou recarregando as baterias durante o aquecimento/ resfriamento da cabine).	Projetos-piloto; Operações e manutenção; Planejamento das rotas

		Coletar dados operacionais para tomar decisões que otimizem o funcionamento do sistema e os benefícios para a comunidade. Se os serviços tiverem de ser alterados, usar formas de planejamento participativo para aprimorar as rotas e buscar o consenso da comunidade. Adicionar os tempos de carregamento aos horários das rotas. Definir um limite mínimo de carga para retornar à garagem para recarregar.	
Operações de apoio e manutenção	Falta de familiaridade com Evs Piora da vida útil da bateria devido a operações e manutenção ruins Desafios da cadeia de suprimentos	Incluir requisitos de treinamento e manutenção específicos para BEBs nos contratos. Definir padrões de desempenho nos contratos com os fabricantes. Monitorar o desempenho dos BEBs com base nos dados coletados. Avaliar diferentes estruturas de propriedade e responsabilidade (detalhadas nos contratos e instrumentos de financiamento) para escolher aquela que levará à melhor divisão de responsabilidades com base nas diferentes capacidades das partes interessadas. Instruir os operadores e a equipe de manutenção sobre operações e manutenção específicas de BEBs (carregamento, horários, limites mínimos de carga e impacto do estilo de condução na vida útil da bateria, entre outros). Seguir as orientações do fabricante.	Contratos; Destaque sobre o ITDP Brasil; Planejamento de operações e manutenção; Destaque sobre o ITDP China
Políticas e estratégias de apoio	Ausência de políticas de apoio ou contratos rígidos contra a adoção de tecnologias elétricas Políticas que encorajem o uso de veículos ICE	Criar ou atualizar as políticas vigentes para incentivar a adoção de tecnologias de emissão zero, como BEBs. Incentivar a adoção de infraestrutura de carregamento elétrico e correspondentes conexões de rede. Alinhar as políticas às pautas ambientais e sanitárias da cidade. Fazer com que os contratos incentivem a atualização e adoção de tecnologias de emissão zero. Adotar estratégias de apoio. Reduzir o tráfego, tornar a rede mais verde, integrar o planejamento dos BEBs ao desenvolvimento urbano e integrar os serviços de ônibus elétricos à rede de transporte sustentável.	Estudo de caso do ITDP China; Contratos; Estratégias de apoio

Custeio adequado e mecanismo de financiamento viável	Alto custo de capital (barreira citada com mais frequência)[73] Preços altos de energia elétrica[74]	Utilizar recursos públicos de financiamento e incentivos financeiros (concessões, subsídios, incentivos fiscais). Considerar mecanismos de financiamento inovadores, tais como *leasing* de baterias, *leasing* financeiro e empréstimos/títulos verdes; Atuar em parceria com empresas de serviços públicos para estender a rede, reduzir os custos de carregamento (ou seja, recarregar as baterias fora do horário de pico, escalonar o uso/carregamento) e instalar a infraestrutura de menor custo. Considerar modelos que considerem o custo total de propriedade para o financiamento em oposição a apenas o custo de capital. Considerar a remoção dos custos de infraestrutura de carregamento do TCO para tornar o sistema mais viável financeiramente.	Custeio, financiamento; Trabalho com empresas de eletricidade; Planejamento geral da infraestrutura
Comunicação clara e apoio adequado das partes interessadas	Falta de colaboração, comunicação e capacidade/ conhecimentos	Desenvolver a capacidade interna por meio de coleta de dados e *workshops*. Atrair apoio externo, disponibilizando informações sobre o projeto de eletrificação ao público e à sociedade civil. Comunicar-se com as comunidades; incluí-las no processo de transição para ajudá-las a compreender a mudança e os benefícios para a comunidade; e descobrir o que elas buscam em um serviço de transporte público após eventuais mudanças no serviço. Reunir-se com a concessionária no início do processo de planejamento. Ter clareza quanto aos desafios que os governos enfrentarão e estabelecer expectativas claras dos setores público e privado.	Destaque sobre o ITDP Índia; Destaque sobre o ITDP México

73 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
74 Gallo. 2016. Electric Truck & Bus Grid Integration, Opportunities, Challenges, & Recommendations.

City Centre via 100
SPT
YJ14 BDE

ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA

2

Os ônibus elétricos a bateria são ônibus totalmente elétricos, cujos motores são alimentados por uma bateria. A rápida expansão da adoção de BEBs sinaliza um crescente interesse por essa tecnologia como meio de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade de vida urbana. As seções a seguir identificam modelos comuns de ônibus e baterias para ajudar a entender como variações nas tecnologias de ônibus e baterias podem afetar a idealização do serviço e as operações. Atualmente, há muitos fabricantes concorrentes que oferecem uma diversidade de modelos de ônibus e baterias. Compreender a variedade de tecnologias disponíveis comercialmente e como certos modelos podem atender às necessidades e parâmetros de determinado sistema melhor que outros é um passo fundamental para a criação de sistemas de transporte público usando BEBs.

2.1 MODELOS MAIS COMUNS DE ÔNIBUS

Capacidade suficiente e boa autonomia são requisitos fundamentais para atender à demanda de transporte público e reformular os planos de serviços com ônibus elétricos. A capacidade de passageiros de determinado sistema de BEBs e sua autonomia dependerão do comprimento do ônibus e do seu projeto interior (por exemplo, espaço para que os passageiros viajem sentados ou em pé, localização das rodas e baterias), bem como o peso e a capacidade de armazenamento da bateria. Normalmente, um ônibus convencional (12 m) com uma mistura de espaços em pé e assentos pode acomodar de 60 a 80 passageiros, e um ônibus articulado (18 m) com mistura semelhante pode acomodar de 120 a 160 passageiros. Em termos gerais, isso também se aplica a ônibus elétricos, embora maximizar a capacidade de passageiros possa impor desafios relativos à autonomia das baterias e levar à perda de energia. Autonomia significa quanto tempo um ônibus consegue rodar antes de parar para recarregar ou reabastecer. A autonomia depende do tipo e da capacidade da bateria. Quanto tempo um ônibus fica fora de serviço para ser recarregado ou reabastecido depende do tipo de infraestrutura de carregamento. Esses são os principais fatores para decidir o modelo de ônibus ideal para cumprir determinado plano de serviços

A tabela a seguir apresenta uma breve visão geral dos fabricantes de BEBs mais comuns em todo o mundo. Incluímos os modelos mais populares, que usam tecnologias emergentes (como a bateria LMP da Bolloré) ou oferecem alta capacidade (como o ônibus articulado Solaris e os modelos BYD de dois andares) para mostrar a diversidade de modelos de BEBs disponíveis. Os modelos articulados são menos comuns no momento, devido aos desafios relacionados ao peso maior, à autonomia reduzida e aos tempos de carregamento mais longos que os ônibus não articulados.

Passageiros em uma estação de BRT em Nanning, China. **FONTE:** ITDP China

PÁGINA AO LADO
Um ônibus elétrico trafega pelo centro de Glasgow, Reino Unido. **FONTE:** Ralf Roletschek, GFDL 1.2, Wikimedia Commons.

MODELOS MAIS COMUNS DE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA							
FABRICANTE	**MODELO**	**COMPRIMENTO (M)**	**TIPO E CAPACIDADE DA BATERIA (KWH)**	**CARREGAMENTO COMPATÍVEL**	**AUTONOMIA MÁXIMA DO FABRICANTE (KM)***	**CAPACIDADE DE PASSSAGEIROS ** **	**MAIS COMUMENTE ENCONTRADO EM**
Bolloré	Bluebus	12	LMP	*Plug-in* na garagem (PD)	Até 320	Até 109	Europa
BYD	K9S	10.6	LFP, 352	PD	Até 233 a 346	32 assentos	América do Norte, América Latina, Europa, China, Ásia
	K9 (várias versões, ver acima e abaixo)	12	LFP, 250 to 324 (most often 324)	PD	Até 250 a 320	Até 76	
	K9	12	LFP, 500	PD	Até 255	Até 61	
	K11 (as versões incluem K11A)	18	LFP, 438	PD	Até 350	47 a 55 assentos	América Latina
	C8MS (dois andares)	10.6	LFP, 313	PD	Até 273	47 a 51 assentos	Londres
	C10MS (dois andares)	13.7	LFP, 446	PD	Até 370	77 assentos	
New Flyer	XE35	11	Li-ion, 160 to 388	Carregamento na rota (OC), PD	Até 305	Até 67	América do Norte, Europa
	XE40	12.5	Li-ion 160 to 466	OC, PD	Até 360	Até 82	
	XE60	18.5	Li-ion 267, 320, 466	OC, PD	Até 215	Até 125	
Nova Bus	LFSe	12.2	Li-ion, 150	OC	--	Até 80	América do Norte
	LFSe+		Li-ion, 564	OC, PD	--	Até 68	
Proterra	ZX5	10.6	Up to 450	PD, OC	Até 386	29 assentos	América do Norte
	ZX5	12	Up to 675	PD, OC	Até 529	40 assentos	
Solaris	Urbino 8.9	8.9	LFP/LTO, 160	PD, OC	Até 200	Até 50	Europa
	Urbino 12	12	LFP/LTO, 160 to 300		Até 266	Até 65	
	Urbino 15	15	LFP/LTO, 470		--	65 assentos	
	Urbino 18	18	LFP/LTO, 550		Até 185	Até 120	
VDL Bus & Coach	Vários Modelos	10 - 18.75	85-288	PD, OC	--	Até 60 a 135	Europa
Volvo Bus	7900 Electric	12	LFP, 198, 264, or 330	OC	--	Até 105	Europa, América do Norte, América Latina, Ásia, Austrália
Yutong	E-12	12	LFP, 295	PD	Até 220	Até 92	China, Europa, América do Norte, América Latina, Austrália
Zhong tong	LCK6122E VG	12	LFP, 230	PD	Até 250	Até 45 assentos	China

75 Fontes: MJB & A. 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis, Lowell, 2019. Electric Bus 101: Economics, Politics, Myths, & Facts, Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2, BYD, n.d. The BYD K9: Battery Electric—Zero Emissions., BYD, n.d. The BYD K9S: Battery Electric—Zero Emissions, BYD, n.d. The BYD C8MS: Battery Electric—Zero Emissions, BYD, n.d. The BYD C10MS: Battery Electric—Zero Emissions, BYD, n.d. Bus Electrico K9G, BYD, n.d. Bus Electrico K11A, Sustainable Bus, n.d. More Than 100 Bluebus Electric Buses Ordered in Paris (with LMP batteries), BYD, 2020. BYD Delivers 10 Battery-electric Buses to Link Transit, BYD, n.d. The World's First 40-ft-Long Battery-Electric Bus, BYD, n.d. The BYD K11: Battery Electric—Zero Emissions, New Flyer, 2018. Xcelsior CHARGE XE35 Technical Summary, New Flyer, 2018. Xcelsior CHARGE XE40 Technical Summary, New Flyer, 2018. Xcelsior CHARGE XE60 Technical Summary, Nova Bus, n.d. LFSe, Nova Bus, n.d. LFSe+, Proterra, n.d. Revolutionizing Transit: The Proterra ZX5 Electric Transit Bus, VDL Coach & Bus, n.d., Aiming for Zero. Move Together. Citea. [Download on page], Solaris Bus, 2020. Zero Emission Powertrains: Product Catalogue 2020/2021, Green Car Congress, 2020. Szczytno Orders Two Solaris Urbino 8.9 Electric Buses, Sustainable Bus, 2020. All 90 Solaris Urbino 12 Electric Made It to Berlin, Solaris, 2020. Urbino 15 LE Electric, Sustainable Bus, 2019. Solaris Ready to Unveil a Solaris Urbino 18 Electric with 550 kWh Battery, Inside EVs, 2019. Solaris Introduces Urbino 18 Electric with 553 kWh Battery, Volvo, n.d. Volvo 7900 Electric, Volvo, n.d. Volvo 7900 Electric Data Sheet, Yutong, n.d. E12 Full Electric City Bus, Zhong Tong Bus, n.d. Electric Coach.

À DIREITA:
Ônibus de dois andares híbrido trafega ao lado de um ciclista em Oxford, Inglaterra.
FONTE: Martin Addison: Green Transport, CC BY-SA 2.0, Wikimedia Commons.

PÁGINA AO LADO
TABELA 1[75]
Visão geral dos modelos de fabricantes de BEBs comuns em todo o mundo.
* A autonomia se baseia nas estimativas informadas pelo fabricante, que podem ser maiores que aquela real.
** Nem todos os modelos apresentam dados sobre a capacidade de passageiros; portanto, alguns modelos na tabela são marcados com a capacidade máxima de assentos (não incluindo a capacidade em pé).

2.2
MODELOS MAIS COMUNS DE BATERIAS

As baterias podem representar o item mais caro dos ônibus elétricos a bateria. Além disso, podem ser um dos componentes mais pesados e o maior fator que afeta a autonomia (junto com o tipo de carregamento). Por exemplo, uma bateria LFP pode representar até 39% do custo total de um BEB e até 26% do peso total do ônibus[76]. É importante compreender os modelos de bateria, pois o tipo de bateria e o tipo de carregamento dependem um do outro e exercem um grande impacto nas operações. Isso inclui variações de autonomia, capacidade da bateria e tempo necessário para a recarga. Os fabricantes costumam listar a autonomia da bateria como o limite superior do que é possível em condições ideais, e a realidade é que a autonomia média real de um ônibus, seja ele elétrico ou a diesel, será muito menor. Os planejadores devem compreender essa superestimação geral para que possam planejar as operações com precisão. Além disso, a autonomia e as horas de operação dos ônibus elétricos são inferiores aos dos veículos a diesel. Na China, a média de horas de operação de um ônibus elétrico quase dobrou de 2017 a 2019 (de 4,9 horas para 8,6 horas); no entanto, estabelecer um limite de horas de operação continua a ser um desafio para os sistemas de ônibus urbanos.

A duração típica de uma bateria é de até 12 anos. Com base nisso, algumas empresas oferecem garantias que variam de seis anos (New Flyer) a 12 anos (BYD e Proterra)[77]. Os ônibus costumam ter de duas a seis baterias instaladas, e sua localização depende do tipo de bateria, das considerações de segurança e do fabricante[78]. Atualmente, vários tipos de bateria estão disponíveis, cada um com suas vantagens e desvantagens. As baterias de íon de lítio (conhecidas como Li-ion), inclusive suas diversas variações apresentadas na tabela abaixo, constituem o tipo de bateria mais popular atualmente. Há preferências regionais por determinados tipos de baterias: muitos fabricantes na China favorecem as baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP), ao passo que, na América do Norte e na Europa, as baterias de óxido de lítio níquel manganês cobalto (NMC) e as de titanato de lítio (LTO) costumam ser as favoritas[79]. Outras tecnologias não Li-ion, como a ZEBRA e a Li-S, são menos populares no momento, pois as empresas ainda estão desenvolvendo as tecnologias para seu uso em veículos pesados. Alguns fatores a serem considerados são:

76 Bi et al. 2018. Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing *Plug-in* Versus Wireless Charging for an Electric Bus System.
77 Johnson et al. (NREL). 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
78 JB & A. 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis.
79 Carrilero et al. 2018. Redesigning European Public Transport: Impact of New Battery Technologies in the Design of Electric Bus Fleets. Bi et al. 2018.

Ônibus elétrico trafega próximo à Universidade de Quioto, Japão.
FONTE: hans-johnson, Flickr.

Peso. Baterias mais pesadas costumam ser mais baratas e têm melhor estabilidade térmica (ou seja, a bateria tem menos probabilidade de ser sensível e/ou funcionar mal com temperaturas muito altas ou baixas), mas exigem mais energia para operações mais pesadas, ao passo que as baterias mais leves têm uma recarga mais rápida e uma vida útil mais longa, além de permitirem que os ônibus transportem mais passageiros (devido ao fato de pesarem menos)[80 81]

Tamanho. O tamanho da bateria dependerá do tipo de sistema de carregamento escolhido — o carregamento *plug-in* requer baterias maiores, que costumam ser mais estáveis, ao passo que o carregamento em rota usa baterias menores.

Segurança. As baterias com vida útil mais longa podem apresentar mais perigos nas fases de fabricação e operações. Perigo, neste caso, refere-se ao potencial de as baterias vazarem materiais perigosos ou explodirem durante a fabricação ou operação, como no caso de uma colisão. Se a probabilidade de explosão em uma colisão for maior, pode ser necessário instalar a bateria longe das extremidades anterior e posterior dos ônibus (ao passo que, no caso das baterias mais estáveis, a flexibilidade é maior).

Velocidade de carregamento. Um ciclo de carregamento típico pode variar de 5 minutos a 10 horas, dependendo do método de carregamento.

Autonomia. O carregamento na rota pode usar baterias menores (até uma autonomia ideal de 200 km–300 km), ao passo que o carregamento *plug-in* usará baterias maiores com maior autonomia (até uma autonomia ideal de 500 km).

Capacidade de carregar em temperaturas extremas. Diferentes compostos de metal reagem de maneira distinta a temperaturas extremamente baixas e/ou altas, o que pode afetar a rapidez com que uma bateria pode ser carregada e reter a carga.

Autodescarga. A capacidade da bateria de reter a carga diminui com o tempo e varia entre os diferentes tipos de bateria. Em geral, quando a capacidade da bateria cai abaixo de 70% a 80%, ela é considerada pronta para substituição (idealmente, as baterias duram até a revisão de meia vida do ônibus, ou cerca de seis a sete anos).[82]

Custo. O preço da bateria pode variar com base, em grande parte, na tecnologia de bateria escolhida (considerando os fatores acima) e no local de fabricação e compra. Por exemplo, o custo médio das baterias de ônibus na China é de cerca de US$ 105/kWh, ao passo que, na América do Norte, o preço varia de US$ 300 a US$ 500/kWh, em média[83].

PÁGINA AO LADO
TABELA 2
Informações sobre baterias de várias fontes[85]. Outras tecnologias de baterias, como ácido de chumbo (Pb-ácido), hidreto de níquel metálico (Ni-MH), óxido de lítio-cobalto (LCO), óxido de lítio-manganês (LMO), óxido de lítio-níquel-cobalto-alumínio (NCA), lítio-enxofre (Li-S), lítio-ar (Li-ar) e zinco-ar (Zn-ar) não estão incluídas nesta tabela devido à popularidade dos outros modelos. Os tons mais escuros representam vantagens especiais, ao passo que as caixas brancas com "—" indicam ausência de dados disponíveis.

80 Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing *Plug-in* Versus Wireless Charging for an Electric Bus System.
81 Deng et al. 2019. A Survey on Electric Buses—Energy Storage, Power Management, and Charging Scheduling.
82 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.
83 Scott (Forbes). 2020. Ever-Cheaper Batteries Bring Cost of Electric Cars Closer to Gas Guzzlers. Bolloré. n.d. Electricity Storage and Systems: Brittany.

A tabela a seguir resume alguns dos tipos de bateria disponíveis e suas vantagens/desvantagens, bem como as empresas que usam cada tipo. Alguns tipos de bateria podem ser usados para vários tipos de carregamento. Normalmente, os fabricantes oferecem alguns tipos e tamanhos diferentes de baterias (capacidades) para métodos de carregamento diferentes.

RESUMO DOS TIPOS DE BATERIA

	TIPO DE BATERIA	PESO	SEGURANÇA FÍSICA	VEL. DE CARREGA-MENTO	VIDA ÚTIL	DESEMPENHO	CUSTO	DETALHES	USADA POR	FABRICADA POR
ÍON DE LÍTIO	Fosfato de ferro-lítio (TLFP ou LiFePO4)	↑	↑	↓	↑	↑	↓	+Tipo de bateria mais comum.	BYD, Volvo, Nova, Yutong, VDL Bus & Coach, Zhongtong, Solaris, Van Hool, Evopro, Bozankaya, Ebusco	BYD, CATL, Solaris, SAFT, Valence, BFFT, Bozankaya, Ebusco
	Óxido de lítio-níquel manganês-cobalto (NMC, ou (LiNiMnCoO2)	↓	↓	↑	↑	↑	↑	-Menos segura (se ocorrer um acidente, podem ser produzidos materiais tóxicos e inflamáveis).	Flyer, VDL Bus & Coach, ADL, Heuliez Bus, DCGT	LG Chem, Akasol, Durapower, Microvast, BMZ, Foresee, Mitsubishi, Solaris
	Titanato de lítio (LTO, ou Li4Ti5O12)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	+Caregamento com altas taxas de kWh sem reduzir o ciclo de vida. + Dura 8 mil ciclos a mais que outras tecnologias de íons de lítio.	Proterra, Solaris, Hybricon Bus System, Carrosserie Hess, DCGT	Toshiba, Solaris, Altair-Nano, ABB Group/ TOSA, Microvast
	Lítio-metal-polímero (LMP)	–	↑	–	–	–	↑	+Maior segurança operacional que outras baterias de íon de lítio. - Menos comum	Bolloré[84]	BlueSolutions
	Cloreto de sódio e níquel, ou ZEBRA (NaNiCl)	↑	↓	–	↑	–	↑	+Ciclo de vida mais longo devido à autodescarga mais baixa. - Menos comum	Irizar	FIAMM

84 Bolloré, n.d. Electricity Storage and Systems: Brittany.

85 New Flyer, n.d. Xcelsior CHARGE, Carrilero et al., 2018. Redesigning European Public Transport: Impact of New Battery Technologies in the Design of Electric Bus Fleets, CALSTART, 2010. Energy Storage Compendium: Batteries for Electric and Hybrid Heavy-Duty Vehicles, New Flyer, 2017. Xcelsior CHARGE:Electric Bus Competitive Comparison, Tomaszewska et al., (2019). Lithium-Ion Battery Fast Charging: A Review. ETransportation, 1, 100011, Cano et al., 2018. Batteries and Fuel Cells for Emerging Electric Vehicle Markets., Shahan, 2020. Lithium-Sulfur Batteries to Help Electrify Brazil's Bus Fleets. Miao et al., 2019. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements., Pelican and Yutong, n.d. E12 Electric Bus., Sustainable Bus, 2020. CATL to Equip VDL E-buses With Its LFP Battery (And Reveals a New European Dealer). Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2, Iclodean et al., 2017. Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles., Nair et al., 2019. Lithium Metal Polymer Electrolyte Batteries: Opportunities and Challenges. California Air Resources Board, 2016. Advanced Clean Transit Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles (Discussion Draft).

深圳巴士集团
SHENZHEN BUS
HAYLION 海梁科技
智能驾驶巴士示范基地
深圳巴士集团
B8YW32
SHENZHEN BUS
深圳巴士集团

CARREGAMENTO

PÁGINA AO LADO
Ônibus elétrico e carregador *plug-in* em Shenzhen, China.
FONTE: ITDP China.

3

Para eletrificar as frotas, acertar na decisão sobre a infraestrutura de carregamento é tão importante quanto selecionar os melhores modelos de ônibus. O carregamento elétrico é a principal mudança na transição das frotas de ônibus a diesel para elétricos. Quanto tempo um ônibus pode permanecer em serviço depende do desempenho da bateria e do tempo de carregamento. Em média, os BEBs rodam menos quilômetros por carga completa que os ônibus a diesel totalmente abastecidos, especialmente em cenários em que se usa mais energia da bateria devido ao clima ou à topografia. A eletrificação das frotas significa que as cidades estão substituindo um sistema de ônibus que usava postos de combustível por um com infraestrutura que ainda não foi construída ou implantada na mesma escala existente para o diesel. Os locais, tipos e velocidade de carregamento terão ramificações importantes nas operações de cada sistema de ônibus. Ao passo que o reabastecimento de um ônibus a combustível costuma ser feito em um período de 10 a 20 minutos, o carregamento lento de uma bateria pode levar até 10 horas (embora cinco a oito horas seja o limite de tempo máximo para o carregamento *plug-in*)[86]. Portanto, definir a combinação ideal de infraestrutura e locais de carregamento é uma etapa importante na eletrificação das frotas de ônibus públicos, pois também ajudará a reduzir a taxa de substituição se houver uma harmonização com o plano de serviços e o projeto das rotas[87 88]. Esse é um fator fundamental para as cidades que desejem obter uma taxa de substituição próxima a 1:1 entre ônibus elétricos e ônibus a diesel.

Antes de conduzir um projeto-piloto para testar a infraestrutura e poder expandir o sistema, é necessário calcular os tipos de infraestrutura de carregamento, o número de carregadores e a estações necessárias para cada tipo; o espaço/terreno disponível para instalar estações de carregamento (tanto nas garagens existentes ou ao longo das rotas); o potencial para novas garagens; e a capacidade da rede elétrica. Os operadores devem coletar dados sobre a infraestrutura construída (*hardware*) e a tecnologia do sistema (*software*) na fase-piloto e usar essas informações para embasar as decisões sobre *hardware* e *software* para a futura frota. A avaliação dos tipos de carregamento também deve ser feita no contexto do plano de serviços, que determina quantos ônibus são necessários em quais rotas e com quais tipos de serviços para atender à demanda dos passageiros. Essa avaliação também deve considerar as projeções de crescimento da demanda, já que a maioria das infraestruturas geralmente tem um horizonte de planejamento de 10 a 20 anos, no mínimo. Os planejadores devem entender qual será a demanda futura de passageiros para planejar adequadamente a instalação de longo prazo de um sistema elétrico[89].

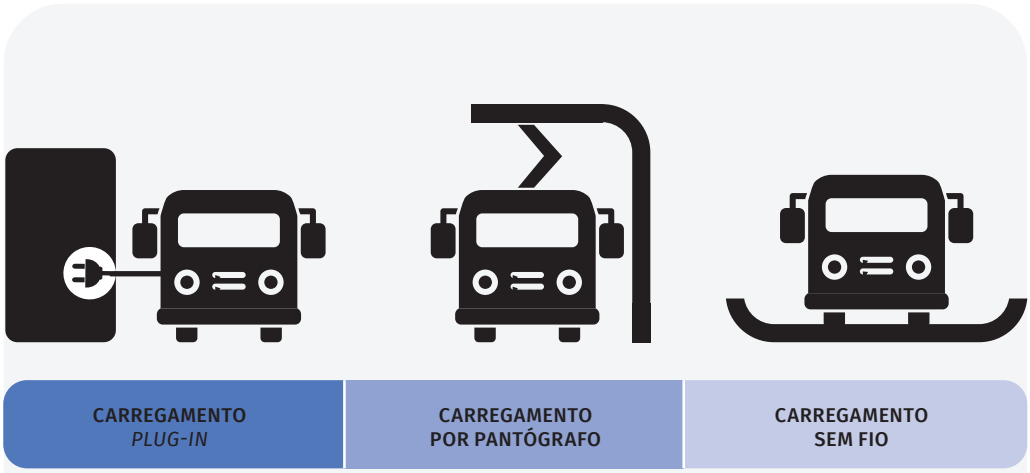
A consideração final será o custo. O planejamento operacional determinará o número de ônibus a serem adquiridos, mas o tipo de carregamento, a taxa de carregamento e a localização das estações de carregamento afetarão a quantidade de ônibus necessários para fornecer os serviços. Os tomadores de decisão devem ter uma ideia de qual sistema e infraestrutura de carregamento serão usados para ver como isso influenciaria o plano de serviços e vice-versa. Qualquer solução escolhida terá impactos sobre os custos. Uma infraestrutura mais cara e de carregamento rápido pode significar que menos ônibus serão necessários para prestar os serviços. O montante de recursos e financiamento disponível influenciará os sistemas e a infraestrutura de carregamento, bem como o número de ônibus que determinada cidade pode adquirir. Além disso, a falta de conhecimentos e boas práticas sobre a recarga de BEBs (já que diferentes cidades optam por diferentes tipos de carregamento) torna mais difícil oferecer uma orientação clara sobre o que funciona melhor para diferentes tipos de sistemas e condições, o que é uma preocupação para os tomadores de decisão[90]. Portanto, é fundamental pesquisar as tecnologias disponíveis, entender como elas se relacionam com o plano de serviços e compreender o financiamento para diferentes tipos de carregamento.

86 UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.
87 Eudy et al. (NREL). 2016. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results.
88 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
89 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
90 Mohamed et al. 2018. What Hinders Adoption of the Electric Bus in Canadian Transit? Perspectives from Transit Providers.

3.1
TIPOS DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO

Há três tipos principais de carregamento de BEBs: *plug-in* tradicional, carregamento por pantógrafo e carregamento por indução. Alguns tipos, como o *plug-in* e o carregamento por pantógrafo ao longo da rota, podem ser combinados. Cada tipo de carregamento requer uma infraestrutura distinta e apresenta diferentes vantagens e desafios, principalmente em termos de requisitos de espaço e tempo de carregamento. A tabela 3 resume os diferentes aspectos desses tipos de cobrança. Outros tipos de carregamento, como carregamento ultrarrápido (semelhante ao pantógrafo, mas feito em alguns segundos em vez de alguns minutos) e a troca de baterias, não estão incluídos nesta análise, pois não são opções predominantes no momento[91].

TIPOS DE CARREGAMENTO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA



CARREGAMENTO *PLUG-IN* TRADICIONAL

O *plug-in* tradicional, também conhecido como carregamento noturno ou de garagem, é o método de carregamento mais comum em todo o mundo. Na China (o maior mercado de ônibus e carregadores), o *plug-in* tradicional domina o segmento de ônibus elétricos[92]. É a opção de carregamento mais barata, com custos de investimento em infraestrutura relativamente baixos e menor impacto sobre a rede elétrica e as baterias. A forma mais comum de *plug-in* é o carregamento noturno realizado nas garagens com uma conexão manual, que fornece ao ônibus uma autonomia de 200 km a 300 km[93]. O número de carregadores necessários para cada frota dependerá do tamanho dos carregadores e das baterias, bem como de suas capacidades, velocidades e métodos de carregamento, entre outros fatores. Em geral, o sistema de carregamento lento em garagens requer um carregador para cada um ou dois veículos[94]. No entanto, novas tecnologias estão surgindo constantemente, e carregadores de grande escala, como o carregador de 1,5 MW da Proterra, podem carregar até 20 veículos simultaneamente[95]. Os tomadores de decisão devem trabalhar diretamente com os fornecedores (em relação à disponibilidade de equipamentos) e as concessionárias de energia elétrica (em relação à disponibilidade/limitações de eletricidade) para determinar a melhor razão entre carregadores e veículos em seu sistema.

Velocidade de carregamento: Lenta. O carregamento *plug-in* inclui tanto o carregamento lento, que pode levar até 10 horas (embora cinco a oito horas seja o limite mais comum), quanto o carregamento rápido, que pode levar de 10 a 30 minutos (mas geralmente leva de uma a duas horas). O mais comum é ter um carregamento *plug-in* que leve de duas a oito horas[96].

Localização da infraestrutura: Devido ao tempo necessário para recarregar os ônibus, os carregadores *plug-in* provavelmente serão instalados no final das rotas ou nas garagens de ônibus, que podem ser instalações novas ou estruturas preexistentes adaptadas para esse fim. A construção e modernização de garagens devem considerar a área adicional necessária para os carregadores elétricos, que requerem mais espaço que as estações de reabastecimento de diesel.

91 O carregamento ultrarrápido (ou "carga-relâmpago") pode ser muito desgastante para a rede elétrica, e a troca de baterias pode ser cara (devido à compra de baterias adicionais e à necessidade de pessoal para realizar a troca).
92 Gohlich et al. 2018. Design of Urban Electric Bus Systems.
93 Gohlich et al. 2018. Design of Urban Electric Bus Systems.
94 Johnson et al. (NREL). 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
95 Proterra, n.d. Charging for Electric Vehicles.
96 UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.

CARREGAMENTO POR PANTÓGRAFO

O carregamento por pantógrafo (aéreo) é mais caro que o carregamento *plug-in*, mas tem um tempo de carregamento significativamente mais curto. Isso permite distâncias operacionais mais longas, pois os ônibus podem recarregar rapidamente suas baterias nessas estações de recarga ao longo de suas rotas de serviço. Este tipo de carregamento também permite o uso de baterias menores, o que viabiliza o transporte de mais passageiros. Pode ser combinado com o carregamento noturno para recarregar as baterias dos ônibus ao longo do dia (como foi feito em Barcelona e Seattle) ou ser usado sozinho[97 98]. Os carregadores podem ser montados no teto dos veículos (o braço de carregamento é montado no ônibus e o ônibus se conecta ao carregador) ou em um poste (o braço de carregamento é montado no poste de carregamento e o pantógrafo desce para se conectar ao ônibus)[99]. O carregamento por pantógrafo é mais comum na Europa e na América do Norte que em outras regiões, mas está começando a se tornar mais popular na China[100]. Geralmente, um carregador pode ser usado para 8 a 20 veículos em trânsito, mas isso varia[101 102]. O tamanho da bateria e a carga necessária depende da combinação (ou não) deste sistema com o carregamento noturno. Muitas vezes, o carregamento por pantógrafo é financeiramente mais vantajoso em grandes cidades, onde cada ônibus deve percorrer muitos quilômetros[103]. O programa ZeEUS em Barcelona decidiu que o carregamento por pantógrafo seria o sistema mais confiável para suas operações, mas os altos custos e os atrasos na construção da infraestrutura têm imposto desafios significativos para sua adoção[104]. Embora o carregamento por pantógrafo possa oferecer o melhor desempenho dos ônibus elétricos e uma maior estabilidade das rotas, as restrições financeiras e de rede (alto volume de carga em um curto período em oposição ao carregamento de baixa intensidade por um período mais longo com *plug-in*) podem retardar sua adoção[105].

Velocidade de carregamento: Rápida. Ao passo que o carregamento *plug-in* pode levar de uma a dez horas, o carregamento rápido por pantógrafo ao longo da rota leva cerca de 5 a 20 minutos para atingir uma carga suficiente para concluir o serviço diário antes de retornar à garagem (cerca de 40% a 80%)[106 107]. Os pantógrafos também podem ser usados nas garagens. Nesses casos, o processo é mais lento, levando algumas horas para atingir a carga total[108].

Localização da infraestrutura: Geralmente, as estações de carregamento são instaladas ao longo ou perto das rotas (às vezes no final das rotas ou onde várias rotas se cruzam), para que os ônibus possam ser recarregados ao longo do dia. Também podem estar nas garagens.

Estação de carregamento por pantógrafo em Varsóvia, Polônia. **FONTE:** Wistula, Wikimedia commons.

97 King County Metro. 2020. Battery-Electric Bus Implementation Report: Interim Base and Beyond.
98 Endesa. 2019. Endesa and TMB Install 2 New Pantographs to Charge Electric Buses in Barcelona.
99 McKinsey & Company. 2018. The European Electric Bus Market Is Charging Ahead, but How Will It Develop?
100 Personal communication, ITDP China, April 2020.
101 Johnson et al. (NREL). 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
102 Pelletier et al. 2019. The Electric Bus Fleet Transition Problem.
103 McKinsey & Company 2018. The European Electric Bus Market Is Charing Ahead, but How Will It Develop?
104 UITP, n.d. ZeEUS Demonstrations (Barcelona).
105 Mohamed et al. 2017. Simulation of Electric Buses on a Full Transit Network: Operational Feasibility and Grid Impact Analysis.
106 Endesa. 2019. Endesa and TMB Install 2 New Pantographs to Charge Electric Buses in Barcelona.
107 MJB & A. 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis.
108 UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.

CARREGAMENTO SEM FIO

O carregamento sem fio ocorre a partir da ressonância eletromagnética entre bobinas instaladas na parte inferior dos veículos e na rodovia, sem que seja necessário um contato físico entre elas[109]. Cada estação de carregamento sem fio pode ser chamada de *pad* (ou tapete) e pode ser instalada ao longo da rota ou nas garagens de ônibus. Esses *pads* também podem ser usados em faixas exclusivas ou em faixas de tráfego misto para recarregar veículos particulares, táxis e caminhões, embora isso seja menos comum atualmente. Alguns dos benefícios do carregamento sem fio são a possibilidade de efetuar a recarga durante a operação, a eficiência energética, a redução ou eliminação da necessidade de pessoal para supervisionar o carregamento e a possibilidade de usar baterias mais leves. Além disso, a redução do peso dos ônibus e das baterias, aliada à possibilidade de recarga contínua, reduz o consumo de energia e as emissões ao longo do ciclo de vida útil dos veículos[110]. Este tipo de carregamento requer obras significativas ao longo das rotas de ônibus, com aproximadamente 5% a 15% da rota consistindo em infraestrutura de carregamento instalada[111]. Teoricamente, a autonomia máxima é ilimitada (se carregadores indutivos estiverem localizados ao longo das rotas), mas outras restrições (localizações limitadas dos *pads* de carregamento) limitam a autonomia diária[112]. Por exemplo, em Wenatchee, no estado de Washington, EUA, os *pads* de recarga ao longo do trajeto são capazes de recarregar totalmente uma bateria de ônibus elétrico em três ou quatro horas, podendo manter a carga ao longo do dia[113]. Como a infraestrutura de carregamento está embutida na pavimentação das rotas, este tipo de carregamento é o menos comum e o mais caro. Ele foi testado em algumas cidades de países de alta renda na Europa, além da Coreia do Sul e dos Estados Unidos.

Velocidade de carregamento: Rápida. Semelhante ao carregamento por pantógrafo, esta tecnologia pode levar menos de 20 minutos para fornecer uma recarga parcial, ou algumas horas para atingir a carga total.

Localização da infraestrutura: Pode estar ao longo ou no final das rotas, ou ainda nas garagens. Em geral, a faixa com o carregador sem fio embutido é separada do resto do tráfego, mas também pode ser uma faixa de tráfego misto.

À ESQUERDA
Estação de carregamento em Washington, D.C., EUA.
FONTE: BeyondDC, Flickr.

À DIREITA
Carregador sem fio.
FONTE: Spsmiler, CC0, Wikimedia Commons.

109 Bi et al. 2018. Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing *Plug-in* Versus Wireless Charging for an Electric Bus System.
110 Bi et al. 2018. Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing *Plug-in* Versus Wireless Charging for an Electric Bus System.
111 Bak et al. 2018. Strategies for Implementing Public Service Electric Bus Lines by Charging Type in Daegu Metropolitan City, South Korea.
112 Gohlich et al. 2018. Design of Urban Electric Bus Systems.
113 Hill, 3030. Washington E-Buses Get 300kw Wireless Charging System.

Para sistemas que enfrentem restrições na rede elétrica, será importante considerar métodos de carregamento fora dos horários de pico: por exemplo, o *plug-in* tradicional com carregamento noturno pode reduzir o impacto na rede durante os horários de pico[114]. Táticas adicionais podem ser usadas para gerenciar a rede e, ao mesmo tempo, apoiar frotas elétricas, como o projeto Volvo LIGHTS, que faz parceria com concessionárias e operadores de serviços públicos e lhes fornece dados em tempo real para integrar os Ves, de forma a evitar quedas de energia ou outras complicações decorrentes do aumento da carga[115]. Isso destaca uma boa prática que os planejadores devem adotar: **fornecer informações precisas sobre as rotas e frotas às concessionárias parceiras** para que todas as partes interessadas possam prever e se preparar para os horários de pico de carregamento da frota (que podem ou não estar alinhados aos horários de pico de demanda de energia)[116].

Alternativamente, os sistemas com restrições na rede e maior estabilidade financeira podem considerar o carregamento por pantógrafo ou sem fio[117]. Os operadores da rede local devem ser consultados, pois podem ter preocupações sobre a carregamento de veículos pesados, especialmente grandes frotas e sistemas de carregamento rápido (que drenam a rede a uma taxa mais elevada)[118]. A falta de conhecimentos sobre a recarga de BEBs (já que diferentes cidades optam por diferentes tipos de carregamento) pode limitar a compreensão e as boas práticas disponíveis para os tomadores de decisão[119].

114 Mohamed et al. 2017. Simulation of Electric Buses on a Full Transit Network: Operational Feasibility and Grid Impact Analysis.
115 Volvo LIGHTS, n.d. About.
116 Singh. 2020. Alleviating Stress on the Grid with EV Fleet Adoption.
117 Mohamed et al. 2017. Simulation of Electric Buses on a Full Transit Network: Operational Feasibility and Grid Impact Analysis.
118 Singh. 2020. Alleviating Stress on the Grid with EV Fleet Adoption.
119 Mohamed et al. 2018. What Hinders Adoption of the Electric Bus in Canadian Transit? Perspectives from Transit Providers.

COMPARAÇÃO DOS TIPOS DE CARREGAMENTO							
TIPO DE SISTEMA DE CARREGAMENTO	NÍVEL DE CUSTO	POTÊNCIA DO CARREGADOR (KW)	TAMANHO DA BATERIA (KWH)	VELOCIDADE E TEMPO DE CARREGAMENTO[120]	PRÓS	CONTRAS	PAÍSES E REGIÕES DE USO
Plug-in tradicional	Despesa média	40 a 125 (carregamento lento) 150 a 500 (carregamento rápido)	300 a 450+ (alguns modelos até 660)	Carregamento lento: cerca de 2 a 10 horas. Carregamento rápido: pode ser de 10 a 30 minutos, geralmente menos de uma a duas horas.	+ Menores custos de infraestrutura e eletricidade; portanto, menor investimento inicial. + Layout flexível. + Menos requisitos para a rede elétrica. + O carregamento lento tem menos impacto na vida útil da bateria.	- Maior tempo de carregamento. - Menor eficiência de carregamento. - Layout de infraestrutura dispersa. - O carregamento rápido pode reduzir a vida útil da bateria e exigir mais capacidade da rede elétrica. - Maior área necessária para a infraestrutura.	China, América Latina, Europa, EUA, Nova Zelândia
Pantógrafo (aéreo)*	Despesa alta	125 a 500 (na rota) Até 600 (na garagem)	60 a 250+ (pode usar maior, se desejar)	Carregamento rápido: 5 a 20 minutos.	+ Permite operação mais longa. + Baterias menores. + Menor tempo de carregamento. + Menor área necessária.	- Infraestrutura e custos de eletricidade mais altos. - O carregamento rápido pode reduzir a vida útil da bateria e exigir mais capacidade da rede elétrica. - Menos dados disponíveis para este modo em comparação ao carregamento *plug-in* lento.	China (embora menos comum), Coreia do Sul, Europa, EUA, Canadá[121]
Sem fio	Despesa mais alta	200[122] a 300[123]	60 a 125[124]	Carregamento rápido e dinâmico (ou seja, a infraestrutura subterrânea se alinha à infraestrutura de carregamento no ônibus)	+ Permite operação mais longa + Baterias menores + Carregamento contínuo	- Mais caro. - Requer obras significativas, tanto em termos de área utilizada (toda a rota designada para o carregamento) e tempo (cronograma de instalação mais longo). - Menos dados disponíveis para este modo.	Europa, Coreia do Sul, EUA[125]

TABELA 3[126]
Comparação dos custos, tipos e localizações mais comuns de diferentes sistemas de carregamento de ônibus elétricos A troca das baterias é um método adicional, mas é muito caro e pouco comum (testado em Qingdao, na China[127]. *O pantógrafo aqui é apenas fixo, não contínuo.

Informações sobre os custos das operações, inclusive os custos de diferentes tipos de carregamento, encontram-se disponíveis nas seções 6.3, Despesas operacionais, e 6.4, Custeio das despesas operacionais. Uma visão geral do planejamento operacional, inclusive o planejamento da infraestrutura de carregamento, está disponível na seção 7, Planejamento de operações e serviços. A seção a seguir resume as considerações e boas práticas para a realização de projetos-piloto de ônibus elétricos a bateria.

120 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
121 Vapor Bus International (Mass Transit). 2020. ETS Installs In-Depot Pantographs to Charge Electric Buses.
122 Shepard. 2020. 200-kW Charging System for Electric Transit Buses.
123 Hill, 3030. Washington E-Buses Get 300kw Wireless Charging System.
124 IPT Technology, n.d. Wireless Charging Buses.
125 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
126 Fontes: Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2, Strategies for Implementing E-Bus Lines by Charging Type—Daeku City, South Korea, Financing Hybrid Electric Buses. APTA, 2020. Resiliency for Battery Electric Buses: Best Practices & Future Strategies, Vapor Bus International (Mass Transit). 2020. ETS Installs In-Depot Pantographs to Charge Electric Buses. Carrilero et al., 2018. Redesigning European Public Transport: Impact of New Battery Technologies in the Design of Electric Bus Fleets. Houbaddi et al., 2019. Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging. Gao et al., 2017. Battery Capacity and Recharging Needs for Electric Buses in City Transit Services, MJB & A, 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis.
127 Li et al. 2018. Planning of Electric Public Transport System Under Battery Swap Mode.

PROJETOS-PILOTO

PÁGINA AO LADO
Projeto-piloto de carregamento de oportunidade para ônibus elétricos em Ontário, Canadá.
FONTE:
York Region, Flickr.

4

Os projetos-piloto de ônibus elétricos são um primeiro passo importante para a eletrificação da frota pública. Esses projetos permitem que os governos, os órgãos responsáveis pelo transporte público, os operadores e outras partes interessadas testem possíveis modelos de infraestrutura de ônibus, baterias e carregamento; experimentem novos cronogramas de operação e manutenção; capacitem seu pessoal; e coletem dados para planejar uma futura estratégia de transição da frota. Ao fazerem isso, eles permitem que as cidades testem o desempenho prometido pelo fabricante em relação ao desempenho real das tecnologias de BEBs[128]. A natureza restrita dos projetos-piloto oferece a oportunidade de dominar desafios e soluções específicas de BEBs antes da adoção de frotas completas.

Os cronogramas dos projetos-piloto variam significativamente devido a uma série de fatores, tais como experiência anterior, infraestrutura existente, flexibilidade de financiamento e capacidade das partes interessadas. O programa HVIP da Califórnia (*Hybrid and Zero-Emission Bus and Truck Voucher Incentive Project*, ou Projeto de Incentivo para Caminhões e Ônibus Híbridos e de Zero Emissão) estima um prazo de 3 a 12 meses para o planejamento; 6 a 48 meses para o desenvolvimento (modernização e instalação da infraestrutura); e um a três meses para a implantação (integração de BEBs ao sistema de transporte). O tempo total do planejamento à implantação pode variar de um a quatro anos[129]. Os cronogramas podem variar, mas os planejadores devem ter uma boa noção de cronogramas realistas em sua região de forma a garantir ampla flexibilidade e executar o projeto com sucesso.

A escala do projeto-piloto de BEBs deve ser suficientemente pequena para que os riscos financeiros e políticos sejam reduzidos; ao mesmo tempo, deve ser suficientemente grande para garantir que a coleta de dados seja detalhada o bastante para embasar o planejamento de uma futura transição de toda a frota[130]. É possível que algumas rotas continuem a ser operadas a diesel por um período de tempo. Os planejadores devem se preparar não apenas para o projeto-piloto e a eletrificação completa da frota em si, mas também para o período de transição, durante o qual as operações devem levar em conta a operação de uma frota mista.

Considerações e boas práticas. Por natureza, o projeto-piloto é concebido para testar rotas e serviços que reflitam os desafios locais que uma cidade possa vir a enfrentar, bem como a capacidade de eletrificação dos operadores e das concessionárias de serviços públicos. Esses projetos devem:

ATRAIR APOIO DOS GOVERNOS E DA POPULAÇÃO.
Os projetos-piloto devem ser usados para atrair mais apoio interno — comunicando e/ou visitando cidades com operações bem-sucedidas de ônibus elétricos — e aprimorar a capacidade interna por meio de consultoria, coleta de dados e *workshops*. Além disso, eles devem angariar apoio público ao estabelecer uma comunicação clara com o público e disponibilizar dados sobre os benefícios do ônibus elétrico. As cidades devem usar projetos-piloto para compilar documentação sobre os benefícios a partir dos dados coletados e, em seguida, vincular os achados aos interesses e preocupações das comunidades e dos tomadores de decisão.

EXPLORAR AS TECNOLOGIAS MAIS RECENTES PARA A AQUISIÇÃO.
Identificar e testar modelos de ônibus viáveis (de preferência, várias opções). Usar uma infraestrutura de carregamento que seja compatível com os modelos de ônibus de vários fabricantes. Dada a rápida evolução do mercado e considerando os diversos modelos disponíveis de ônibus, baterias e infraestrutura de carregamento, os planejadores devem pesquisar novas tecnologias, as quais podem ter maior autonomia, recarga mais confiável e custos mais baixos.[131]

128 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
129 California HVIP. n.d. Infrastructure.
130 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.
131 Singh. 2020. Alleviating Stress on the Grid with EV Fleet Adoption.

DESTAQUE SOBRE A ÍNDIA: CAPACITAÇÃO DO GOVERNO E APOIO PÚBLICO À ADOÇÃO DE BEBS

A cidade de Pune está trabalhando com o ITDP Índia para estabelecer padrões de coleta de dados, auxiliar a expansão da frota e elaborar documentos técnicos para aquisições e operações. No passado, o ITDP Índia assistiu órgãos públicos com campanhas de educação e conscientização na mídia para a transição inicial para ônibus elétricos. Alguns dos aprendizados resultantes dessa experiência na Índia são:

VISITAR CIDADES COM BEBS PARA VERIFICAR AS VANTAGENS LOCAIS

Se possível, levar os tomadores de decisão às cidades onde ônibus elétricos já estiverem em operação para que eles possam perceber as externalidades positivas da adoção de BEBs, como, por exemplo, a melhor qualidade do serviço.

AUMENTAR A CAPACIDADE INTERNA POR MEIO DE INICIATIVAS-PILOTO DE COLETA DE DADOS E *WORKSHOPS*

As decisões devem ser fundamentadas em dados. A falta de planejamento resultará em fragilidades do sistema, como, por exemplo, autonomia inadequada das baterias. Oficinas de capacitação e outros eventos de compartilhamento de conhecimentos promovem uma capacidade governamental interna no longo prazo.

TORNAR AS INFORMAÇÕES DO PROJETO-PILOTO E DA FROTA ACESSÍVEIS AO PÚBLICO

A falta de conhecimentos públicos e a disseminação de informações incorretas sobre os ônibus elétricos podem prejudicar significativamente a adoção de BEBs. Em Pune, a compreensão limitada sobre os contratos de ônibus elétricos levou a uma resistência do público. Para mitigar isso, o ITDP ajudou a autoridade de transporte público a conscientizar a população sobre os benefícios dos ônibus elétricos, inclusive o TCO comparável ao dos ônibus a GNC, os baixos custos de manutenção e os serviços aprimorados.

Ônibus elétrico Olectra-BYD em Pune, Índia.
FONTE: ITDP India

DESTAQUE SOBRE A INDONÉSIA: APOIO GOVERNAMENTAL, MODELOS DE ÔNIBUS IDEAIS E COLETA DE DADOS PARA UMA ADOÇÃO BEM-SUCEDIDA

Após a realização de um projeto-piloto com ônibus da BYD em 2020, o ITDP Indonésia está assistindo a cidade de Jacarta na adoção de 30 ônibus elétricos em 2021. Alguns dos aprendizados resultantes desse planejamento são:

É NECESSÁRIO MUITO APOIO GOVERNAMENTAL

O impulso para adotar ônibus elétricos em Jacarta é parte de um movimento mais amplo do governo indonésio cujo propósito é expandir rapidamente o uso de veículos elétricos no país. Tanto o Regulamento Presidencial n.º 55/2019 para acelerar a adoção de veículos elétricos e o Plano Nacional Geral de Energia visam a reduzir as emissões e aumentar a taxa de adoção de VEs nos próximos anos. Até o final de 2021, a Indonésia terá 220 ônibus elétricos, mas o Ministério de Energia e Recursos Minerais estima que esse número chegará a 8.264 em 2025[132].

SELECIONAR A TECNOLOGIA CORRETA

A escolha do modelo de ônibus elétrico e da tecnologia de bateria mais apropriados é uma parte crucial do processo de planejamento e afetará os aspectos operacionais e financeiros (e o sucesso) da frota de ônibus elétricos. Deve ser dada muita atenção às tecnologias disponíveis e aos modelos viáveis para o contexto de cada cidade.

COLETAR DADOS

Há uma carência generalizada de fontes de dados confiáveis e evidências sobre o desempenho dos diversos modelos de ônibus elétricos. Portanto, é necessário que os projetos-piloto coletem dados e estabeleçam uma estratégia para expandir essa coleta a toda a frota após a adoção de um número maior de ônibus.

CONSIDERAR UMA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

É recomendada uma análise de sensibilidade para o planejamento do sistema de ônibus elétricos, pois isso pode mitigar eventuais incertezas sobre futuras mudanças tecnológicas. Como o mercado de tecnologias de ônibus elétricos está em contínua evolução (a partir de seu estágio atual relativamente incipiente), tal análise é de particular importância. Algumas dessas transformações tecnológicas podem afetar a densidade ou autonomia da bateria, os preços dos ônibus e o custo do carregamento, entre outros fatores.

O Transjakarta, em Jacarta, Indonésia, é o maior sistema de BRT do mundo. A escolha da melhor tecnologia de ônibus elétrico será especialmente importante para esse sistema, que transporta mais de 1 milhão de pessoas por dia.
FONTE: ITDP Indonesia, Flickr.

132 Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Republik Indonesia, n.d. Dashboard Percepatan Program KBLBB (Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai).

Ao deliberarem sobre os modelos viáveis de ônibus e infraestruturas de carregamento, os operadores devem considerar a demanda por viagens locais, os parâmetros do sistema de transporte público, os diferentes níveis de infraestrutura de ônibus (por exemplo, faixas exclusivas pintadas ou com separação física) e as tecnologias existentes. Os projetos-piloto devem testar a confiabilidade e a autonomia real de cada modelo de ônibus para determinado contexto geográfico. Cidades como Seattle, nos EUA, e Nanjing, na China, testaram vários tipos de ônibus até encontrarem modelos compatíveis com seus requisitos locais[133] [134]. Quando não for possível testar vários modelos, é recomendável estabelecer contato com outras cidades para indagar sobre o desempenho de diferentes modelos. Quando possível, a infraestrutura de carregamento deve ser compatível com vários modelos de ônibus e fornecedores, para que as cidades não se restrinjam a adquirir veículos de apenas um fornecedor, que pode ou não ter os modelos de ônibus adequados para a cidade[135].

TESTAR ONDE E QUANDO SÃO VIÁVEIS POLÍTICAS DE APOIO.

Ao planejarem e executarem o projeto-piloto, as partes interessadas no planejamento devem considerar em quais situações é possível adotar estratégias de apoio para reduzir o tráfego, tornar a rede mais verde, integrar o planejamento de BEBs ao desenvolvimento urbano e integrar os serviços de ônibus elétricos à rede de transporte sustentável. Mais informações na seção 8, Estratégias de apoio.

A eletrificação do BRT pode ser vantajosa, graças à infraestrutura de faixa exclusiva e à redução dos congestionamentos. O sistema Transjakarta em Jacarta, Indonésia, já deu início ao processo de eletrificação.
FONTE: Flickr, ITDP Indonesia.

133 Horrox & Casale. 2019. Electric Buses in America: Lessons From Cities Pioneering Clean Transportation.
134 Gong et al. 2020. Road-Test-Based Electric Bus Selection: A Case Study of the Nanjing Bus Company.
135 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.

Passageiros em um ônibus elétrico em Bialystok, Polônia.
FONTE: Rakoon, CC0, Wikimedia Commons.

DESTAQUE SOBRE O MÉXICO: COMUNICAÇÃO CLARA E DEFESA DA CAUSA VERDE PARA O PLANEJAMENTO DE PROJETOS-PILOTO

Com o apoio do ITDP México, a cidade de Monterrey enviou esforços para identificar financiamento, modelos e infraestrutura adequados para eletrificar três linhas de ônibus. Alguns dos aprendizados resultantes dessa experiência em Monterrey são:

CLAREZA SOBRE OS DESAFIOS QUE OS GOVERNOS ENFRENTARÃO

Embora os ônibus elétricos representem uma excelente oportunidade, serão necessários investimentos significativos (financeiros, institucionais e políticos). Vender a ideia de que os ônibus elétricos são econômicos no longo prazo pode parecer algo atraente, mas é importante apresentar o quadro geral para criar parcerias realistas e viabilizar decisões confiantes.

EXPECTATIVAS CLARAS DO SETOR PÚBLICO E PRAZOS REALISTAS

É importante compreender as limitações e as oportunidades para os governos e os órgãos financiados com recursos públicos no início do projeto (como capacidade de planejamento, custeio e apoio político). Ademais, é necessário definir prazos realistas para cada estágio do processo de planejamento, de modo que todas as etapas possam ser concluídas aproximadamente ao mesmo tempo. Isso pode ajudar a evitar o mau uso de recursos financeiros ou humanos.

DEFENDER A ADOÇÃO DE FONTES DE ENERGIA VERDE PARA A REDE LOCAL

É importante comunicar claramente os benefícios e desafios de buscar fontes de energia mais verdes no início do planejamento do projeto. É importante que as cidades tenham ciência da redução de emissões proporcionada por diferentes fontes de energia antes de implementar os projetos-piloto, pois o melhor momento para explorar opções mais limpas é antes de estender toda a rede elétrica para permitir o carregamento veicular. Embora isso possa ser um grande esforço, o fornecimento de energia elétrica é fundamental para a redução das emissões. Além disso, as cidades podem considerar a adição de fontes de energia verde em uma escala menor, tais como painéis solares para abastecer as garagens.

TESTAR TODAS AS ROTAS E SERVIÇOS DO SISTEMA DE ÔNIBUS LOCAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E TOPOGRÁFICAS.

O projeto-piloto é uma oportunidade para testar, monitorar e registrar iniciativas exitosas e considerações relativas a cada rota de um sistema de ônibus. Os projetos-piloto devem testar diferentes condições das rotas (como velocidades, prioridades, preferências e graus) e condições de serviço (como paradas entre percursos, número de passageiros e sistemas de carregamento). Nas cidades que oferecem vários serviços de ônibus (como convencional e BRT), os operadores devem testar essas várias rotas e serviços. Embora a eletrificação dos sistemas de BRT possa representar maiores desafios de autonomia (com o aumento dos quilômetros percorridos e da quantidade de passageiros), ela também oferece maiores reduções de emissões, uma maior porcentagem de quilômetros percorridos por veículos eletrificados e mais conforto para mais passageiros[136]. Além disso, os sistemas de BRT podem oferecer oportunidades únicas com infraestrutura específica que os sistemas de ônibus normais não têm, como garagens e faixas exclusivas, um serviço comparativamente simplificado e menos congestionamento que os serviços de ônibus normais. Os projetos-piloto devem testar o desempenho dos ônibus elétricos em diferentes condições de tráfego (alto congestionamento e diferentes níveis de faixas exclusivas para ônibus). Um BEB consumirá muito mais eletricidade em uma situação com alto congestionamento ou muitas paradas. Durante o projeto-piloto, os operadores devem descobrir quanto tempo de recarga é necessário para que possam entender como isso afetará o planejamento dos serviços[137]. Tudo isso proporcionará um entendimento mais completo de como o serviço pode precisar ser alterado, quantos ônibus serão exigidos e que tipo de infraestrutura de carregamento será necessária para recarregar esses ônibus de forma a atender ao novo plano de serviços. Geralmente, os ônibus em cidades mais montanhosas ou com temperaturas extremas (quentes ou frias) requerem mais carga elétrica para percorrer determinada distância. As temperaturas extremas podem drenar significativamente a capacidade da bateria e piorar o desempenho devido a dois fatores principais: a energia necessária para aquecer ou resfriar o ônibus e o vazamento das baterias durante temperaturas extremas (estabilidade ou instabilidade térmica). Por exemplo, em cidades com temperaturas altas, como Shanghai e algumas cidades no Brasil, mais energia é dedicada ao ar-condicionado, o que reduz a autonomia da bateria, uma vez que é necessária mais energia para o resfriamento[138] [139]. Em Albuquerque, Novo México, EUA, os operadores enfrentaram diversos desafios, pois as altas temperaturas resultaram em vida útil da bateria abaixo da média por causa da sensibilidade da bateria ao calor extremo[140]. Um projeto-piloto deve abranger todas as estações para testar e coletar dados sobre os desafios de ajustes sazonais, inclusive no caso de chuvas fortes. Durante o projeto-piloto, as operações devem descobrir quanto tempo é necessário para recarregar os ônibus elétricos nas diferentes épocas do ano[141]. Se isso não for possível, o projeto deve ser planejado ou levar em consideração a temporada de maior consumo de bateria (extremos de temperatura alta ou baixa). Idealmente, diferentes condições topográficas também devem ser testadas no projeto-piloto para que as cidades possam avaliar como os desafios climáticos sazonais e a topografia afetam o desempenho da frota.

GARANTIR ÁREA SUFICIENTE E CONEXÕES DE REDE ELÉTRICA DISPONÍVEIS PARA NOVAS INFRAESTRUTURAS. CERTIFICAR-SE DE QUE OS SISTEMAS DE HARDWARE E *SOFTWARE* SEJAM COMPATÍVEIS.

Devem ser calculados os seguintes fatores para que o projeto-piloto possa ser ampliado e atingir uma escala total: infraestrutura de carregamento, terreno disponível para a instalação de novas garagens ou estações de carregamento ao longo das rotas, potencial para transformação de garagens existentes e número de carregadores necessários para a fase-piloto. Os operadores e concessionárias devem colaborar para garantir que a infraestrutura de carregamento recarregue a frota de maneira adequada, otimize os custos de carregamento e não imponha desafios significativos à rede elétrica. Os testes da tecnologia devem garantir que os diferentes componentes do sistema (*software* de ônibus e *software* de carregamento) dialoguem entre si e também com eventuais sistemas preexistentes de *software* de programação e controle (despacho). A escalabilidade do projeto-piloto depende das tecnologias de gerenciamento, carregamento e despacho de frotas que interligam os componentes do sistema. Isso deve ser considerado no planejamento da fase-piloto, além de ser necessário para a coleta e compartilhamento de dados.

CAPACITAR E PREPARAR AS EQUIPES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO. APOIAR A INOVAÇÃO E REDUÇÃO DE RISCOS

Os ônibus elétricos têm diferentes sistemas de propulsão e “abastecimento". Os projetos-piloto devem oferecer treinamento sobre como identificar boas práticas e os desafios específicos de cada contexto, bem como preparar o pessoal para treinar outros funcionários para a transição da frota. Os dados sobre boas práticas coletados durante a fase-piloto devem influenciar as operações e o planejamento da manutenção conforme a escala da frota de ônibus. Durante as fases de transição, como os projetos-piloto e o dimensionamento da frota, os operadores podem sofrer perdas financeiras durante um curto

136 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
137 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.
138 Personal communication, ITDP Brazil, April 2020.
139 Li. 2016. Battery-Electric Transit Bus Developments and Operations: A Review.
140 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
141 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.

período — enquanto o pessoal de operações, emergência e manutenção aprende a usar e otimizar novas tecnologias elétricas[142]. A mitigação dessas perdas pode recair sobre o setor público, ou podem ser necessários incentivos para apoiar a adoção de métodos inovadores.

MONITORAR E RASTREAR O DESEMPENHO COM DADOS.
As cidades devem planejar projetos-piloto para que possam usar os dados coletados para revisar os contratos, as operações e a manutenção de aquisições futuras com base nos resultados desses testes. Dados sobre a tecnologia da frota atual também devem ser coletados para que seja possível comparar o desempenho de ônibus convencionais e elétricos. A aquisição de ônibus e baterias, sejam eles iguais ou diferentes daqueles usados na fase-piloto, deve ser baseada nos acertos e falhas identificados nesta fase. Os dados coletados durante a fase-piloto determinarão se o desempenho esperado dos BEBs se compara ao que foi observado. Os ajustes necessários para a aquisição, operação e manutenção dos ônibus devem ser feitos em conjunto com as concessionárias de serviços públicos para garantir que quaisquer mudanças na infraestrutura de carregamento possam ser concluídas. Os operadores devem coletar as avaliações dos motoristas e passageiros sobre o desempenho do ônibus[143]. As métricas dos dados a serem coletadas podem incluir:

- Dados sobre o serviço: número diário de passageiros, frequência dos ônibus, ocupação dos veículos e velocidade operacional.
- Dados de desempenho dos ônibus elétricos e das baterias: consumo de energia (que variará conforme o tipo e tamanho de veículos, fabricantes de ônibus, estação do ano, topografia e condições das estradas), distância percorrida diariamente, tempo operacional diário, tempo e frequência de carregamento e taxa de substituição.
- Dados operacionais: taxa de degradação da bateria, principais falhas operacionais.
- Dados de custos: custos de veículos com baterias, custos de instalação de infraestrutura de carregamento, custos de carregamento, custos de manutenção e substituição, custos de pessoal (todos os fatores que afetarão a análise do TCO).
- Benefícios ambientais: economia de energia, redução nas emissões de gases de efeito estufa e de poluentes.
- Percepções dos passageiros: perspectivas do usuário sobre a qualidade dos serviços e os benefícios observados.

Todos esses dados devem ser coletados e desagregados conforme o fabricante utilizado, o tipo de veículo, o tamanho do ônibus, a estação do ano, a topografia e as condições das estradas (para cada rota). O Apêndice contém uma tabela dos elementos recomendados pelo ITDP China para a coleta de dados.

Um ciclista trafega próximo a um ônibus elétrico em Shanghai, China. Os ônibus elétricos reduzem a poluição atmosférica, beneficiando as comunidades locais e melhorando a qualidade do ar para os ciclistas. **FONTE:** Flickr, Ludger Heide.

142 ZEBRA & P4G. 2020. Accelerating a Market Transition in Latin America: New Business Models for Electric Bus Development.
143 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.

ESTUDO DE CASO NA CHINA: UMA POLÍTICA NACIONAL COMO CHAVE PARA A ADOÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

A China é o país que mais produz e usa ônibus elétricos no mundo todo[144]. Entre 2011 e 2017, a porcentagem de ônibus elétricos nas vendas totais de ônibus cresceu de 0,6% para 22%[145]. De 2013 a 2017, o governo subsidiou a aquisição de mais de 350 mil BEBs[146]. Em 2019, veículos de energia nova (NEVs, na sigla em inglês — ou seja, ônibus elétricos, híbridos e de célula de combustível) já representavam 59% de todos os ônibus públicos na China, e 75% deles eram ônibus elétricos a bateria. ***Desde 2009, o apoio de políticas públicas desempenha um papel importantíssimo na promoção do desenvolvimento dos ônibus elétricos.*** O apoio do governo chinês deu-se em três frontes: apoio econômico, políticas preferenciais e leis e regulamentos obrigatórios[147]. Os principais estágios das políticas foram:

ESTÁGIO I (2009–2013): Promoção de projetos-piloto.

2009: O governo lança o projeto "Dez Cidades e Mil Veículos", com cada cidade lançando mil veículos de energia nova. O objetivo era que os NEVs representassem 10% do mercado até 2012.

2012: O governo lança um plano de desenvolvimento para a indústria de NEVs. O objetivo era atingir uma capacidade de produção de 2 milhões de NEVs e um volume de vendas superior a 5 milhões de veículos até 2020.

ESTÁGIO II (2013–2018): Promoção de projetos-piloto, frotas e melhorias.

2013: Dos veículos adquiridos por instituições públicas, 30% ou mais devem ser NEVs.

2013: De 2013 a 2015, o governo oferece incentivos às cidades conforme sua aquisição anual de NEVs, variando de ¥ 10 milhões a ¥ 120 milhões (aproximadamente US$ 1,5 milhão a US$ 18 milhões).

2014: A aquisição de veículos de 2014 a 2016 pelo governo central e pelas cidades-piloto não deve ser inferior a 30% do total de veículos.

2015: Até 2020, deve haver 200 mil ônibus NEVs no setor público. Além disso, 30% dos ônibus novos ou modernizados nas cidades-piloto devem ser NEVs, e 35% deles devem estar em Beijing, Tianjin e Hebei.

2015: O governo emite um parecer de que a criação de infraestrutura de carregamento deve ser uma prioridade para os NEVs do transporte público, do saneamento e do transporte aeroportuário.

ESTÁGIO III (2018–2021): Promoção de BEBs em todo o país (mais foco nas operações).

2018: Até o final de 2020, os NEVs no transporte público urbano, incluindo táxis e serviços de entrega, devem chegar a 600 mil, e todos os ônibus em municípios administrados pelo governo central serão substituídos por NEVs.

2018: O governo emite um edital para acelerar o uso de veículos novos ou de energia limpa para o transporte público e outros setores. A proporção de uso nas principais áreas urbanas deve chegar a 80%.

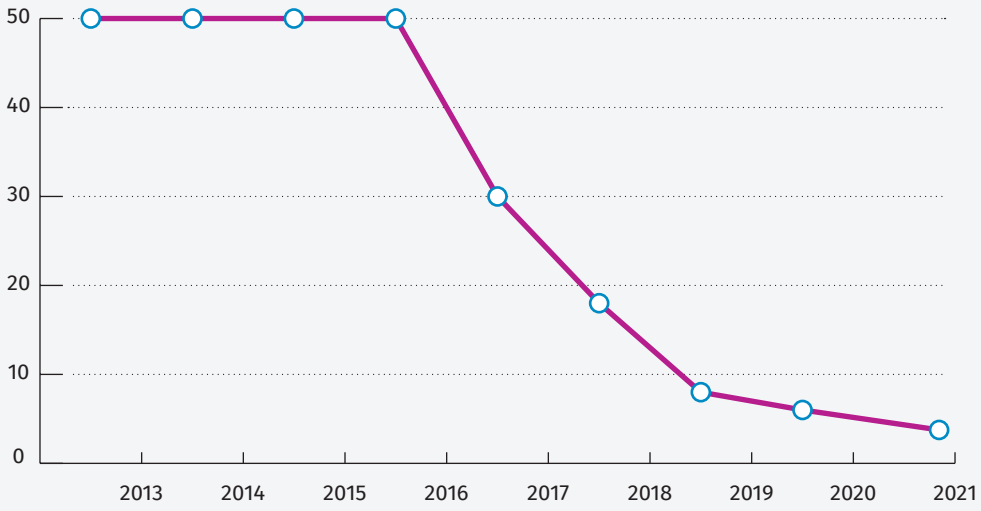
2019: Os subsídios para compras locais são, de maneira geral, abolidos, mas os governos locais permanecem responsáveis pela manutenção dos subsídios para novos ônibus elétricos. O governo isenta os NEVs do imposto sobre a compra de veículos e do imposto sobre circulação.

2019: O governo emite um parecer para promover o uso de veículos novos e modernizados em serviços postais e expressos em áreas urbanas usando energias novas e limpas. Em algumas áreas-chave, esses veículos devem representar 80% da frota até ao final de 2020.

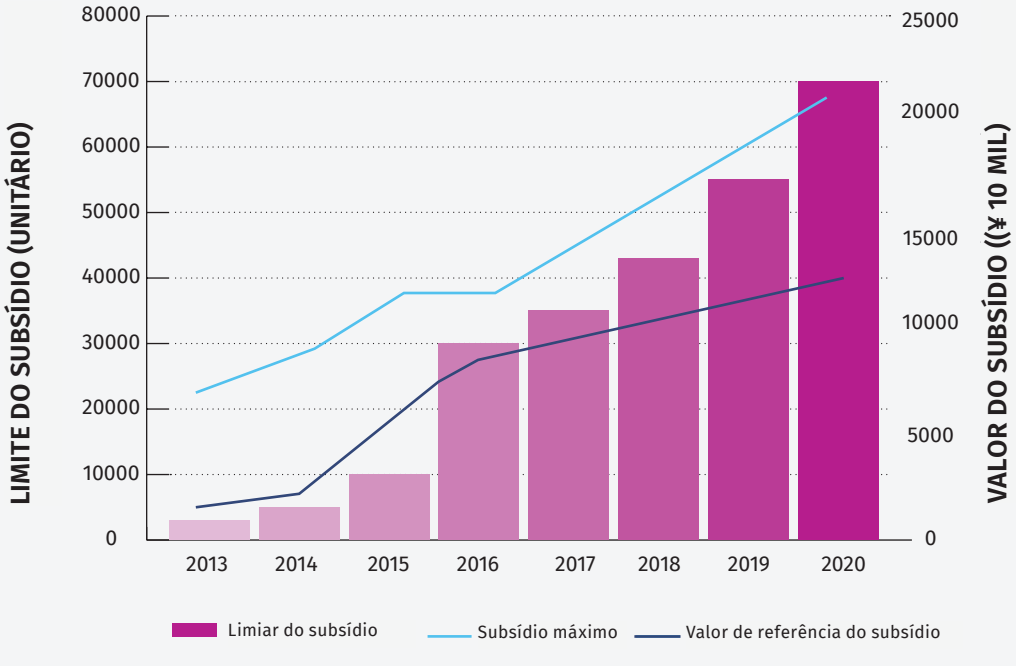
144 ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.
145 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
146 Roberts (Vox). 2018. China Made Solar Panels Cheap. Now It's Doing the Same for Electric Buses.
147 ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.

À medida que o governo se afasta dos subsídios iniciais para compras, ele tem oferecido cada vez mais apoio a projetos de carregamento e operações por meio de subsídios para a infraestrutura de carregamento (que têm aumentado constantemente desde 2013) e subsídios operacionais (desde 2016) (representados nos gráficos abaixo). Essa mudança rumo à melhoria das operações é importante, pois tanto as distâncias operacionais quanto os horários de funcionamento dos ônibus elétricos são menores que os dos ônibus a diesel. Enquanto os BEBs circulem, em média, 133 km por dia, os ônibus a diesel são capazes de rodar até 208 km. Mesmo em Guangzhou, que tem a maior média de quilômetros diários para BEBs, eles ainda atingem apenas 185 km. Esses esforços para melhorar as operações já estão produzindo resultados: em 2017, o tempo médio de operação dos ônibus elétricos era de apenas 4,94 horas, mas aumentou para 8,6 em 2019. Espera-se que as autonomias operacionais e os horários de funcionamento melhorem continuamente, à medida que a China continuar a concentrar seus esforços nesse sentido.

SUBSÍDIO ESTADUAL PARA A AQUISIÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS EM 2013–2021 (¥ 10 MIL/VEÍCULO) (10M < LARGURA < 12M)



SUBSÍDIO NACIONAL PARA A INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO EM BEIJING-TIANJIN-HEBEI, DELTA DO RIO DAS PÉROLAS (ZHU JIANG) E DELTA DO RIO YANGTZE



*O limite do subsídio representa o número mínimo de ônibus que uma cidade precisa ter para receber o subsídio, e o valor de referência do subsídio representa o valor mínimo que uma cidade pode receber

Columbus Av
M86
"You dipped the chip, you took a bite... and you dipped again!"
Seinfeld
hulu

CONTRATOS

5

Embora os contratos de ônibus elétricos apresentem semelhanças com os contratos de ônibus públicos tradicionais, novas partes interessadas e áreas de contrato (como operações de carregamento e manutenção) devem ser consideradas, tanto para os contratos de propriedade quanto para as operações. Em termos gerais, o alto custo inicial dos BEBs exige uma mudança para um modelo de aquisição com foco no custo total de propriedade (TCO), em vez do custo inicial de compra, além de novos mecanismos de financiamento[148]. Tradicionalmente, os contratos são estruturados para combinar a aquisição de ativos e as operações — incluindo os custos financeiros, como pagamentos de dívidas — e muitas vezes estão vinculados ao tempo necessário para obter um retorno sobre o investimento (ROI) desses ativos. Compreender novos mecanismos de financiamento inovadores para ônibus elétricos — como o *leasing* de baterias, que pode ser financeiramente mais viável — será importante para o planejamento do contrato e pode ser uma forma de desvincular os contratos operacionais do ROI. A seguir, apresentamos uma breve visão geral dos contratos de ônibus comuns e, em seguida, destacamos boas práticas para contratos específicos de BEBs com base na experiência do ITDP Brasil. Mais informações estão disponíveis na seção 6, *Custeio, financiamento e modelo financeiro*. Os contratos constituem um dos elementos de um processo de planejamento interconectado e iterativo para a eletrificação das frotas públicas, conforme demonstrado abaixo.

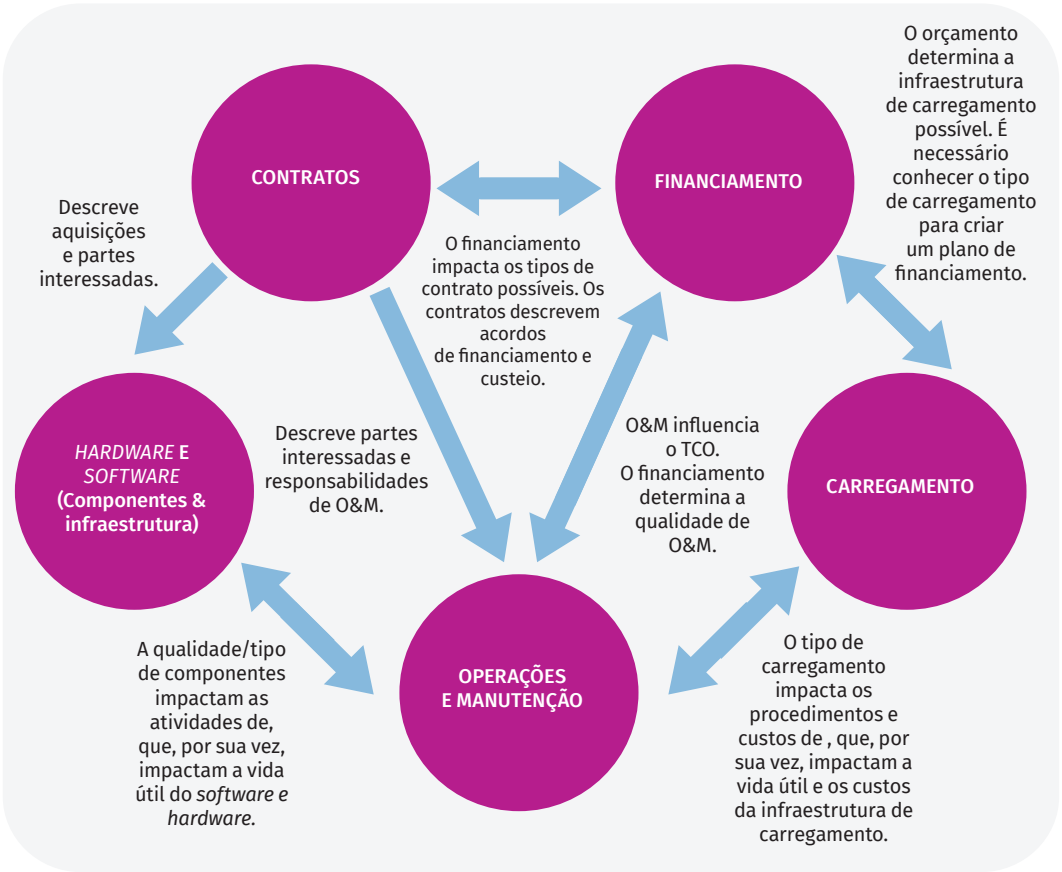


FIGURA 7.
O planejamento de ônibus elétricos a bateria é um processo iterativo, com contratos e financiamentos vinculados entre si e determinando possíveis sistemas de carregamento; tipos de ônibus e baterias; e *hardware, software,* manutenção e operações correspondentes.

PÁGINA AO LADO
Embarque de passageiros em ônibus articulado na Cidade de Nova Iorque, EUA. O ponto de ônibus dispõe de sinalização clara, informações em tempo real e abrigo para os passageiros.
FONTE: NACTO, Flickr.

148 International Finance Corporation (ITF, World Bank). 2020. E-Bus Economics: Fuzzy Math?

Para que as aquisições e operações de BEBs sejam bem-sucedidas, os planejadores podem considerar separar os contratos de aquisição/fornecimento dos contratos de operação. Como destacam pesquisas do C40 e da IFC, quando os operadores são responsáveis pela propriedade e operação das frotas, surgem alguns riscos: a capacidade de atrair capital é limitada e as flutuações da demanda de passageiros podem levar à perda de receitas, o que pode agravar os riscos financeiros de possuir e operar a frota[149]. Pesquisas do ITDP Brasil constataram que a separação dos contratos permite que os planejadores de transporte público celebrem contratos mais longos com os proprietários das frotas, dando-lhes tempo para recuperar seus investimentos; e contratos mais curtos com os operadores, o que permite que a cidade mude de operador se a qualidade do serviço for ruim. Trata-se de um modelo relativamente novo, mas que está sendo cada vez mais explorado. No entanto, tal separação pode impor certos desafios. Uma pesquisa do ITDP México constatou que separar os contratos de fornecimento e de operações pode resultar em má manutenção e certificação[150]: por exemplo, o operador pode não ser tão diligente quanto à condução e manutenção dos veículos se eles forem alugados. Também pode haver um aumento de custos devido à contratação de duas empresas distintas em vez de apenas uma. No entanto, a cidade deve considerar se essa separação pode beneficiá-la e se incentivos ou acordos adequados podem evitar negligências na manutenção e reduzir o risco financeiro para o sistema.

Se for escolhida a separação dos contratos, os contratos de aquisição/fornecimento definirão a aquisição e a propriedade dos ônibus, ao passo que os contratos de operação estabelecerão a parte interessada responsável pelas operações. Se não houver separação, uma mesma empresa contratada será responsável pela aquisição/propriedade e pelas operações. Em ambos os casos, algumas boas práticas contratuais são:

PARA INCENTIVAR A ATUALIZAÇÃO E ADOÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS DE EMISSÃO ZERO: (1) ADICIONAR INCENTIVOS À ADOÇÃO NOS CONTRATOS; E (2) CONSIDERAR A CRIAÇÃO DE VIGÊNCIAS CONTRATUAIS DIFERENCIADAS CONFORME A TECNOLOGIA DOS ÔNIBUS DE FORMA A ENCORAJAR TECNOLOGIAS DE EMISSÃO ZERO.

Os contratos devem promover metas de emissão zero por meio do incentivo à adoção de tecnologias aprimoradas à medida que elas se tornarem disponíveis. Em particular, os contratos devem destacar a importância da adoção de novas tecnologias que reduzam as emissões ambientais e melhorem a saúde da comunidade. Embora os contratos de longo prazo vigentes possam impedir a adoção se forem muito rígidos, os contratos de longo prazo com flexibilidade e incentivos apropriados para a adoção de novas tecnologias de emissão zero podem ajudar a distribuir os custos por um período mais longo[151]. Também é interessante celebrar contratos de propriedade mais longos para ônibus elétricos (até 15 anos, por exemplo) para que os benefícios financeiros considerem seu custo total de propriedade ao longo de toda a vida útil dos veículos (idealmente, 12 anos ou mais). As cidades devem considerar contratos mais curtos para ônibus com emissões diferentes de zero (até 10 anos para ônibus a diesel, por exemplo) para desencorajar seu uso continuado e evitar a questão de um contrato de longa duração para tecnologias de ônibus altamente poluentes que dificultem a eletrificação ou a substituição por outras tecnologias de ônibus com emissão zero[152].

PARA GARANTIR A PROTEÇÃO CONTRA UM BAIXO DESEMPENHO: (1) VINCULAR OS CUSTOS E AS GARANTIAS DO CICLO DE VIDA AO DESEMPENHO DOS ÔNIBUS E BATERIAS; (2) VINCULAR A TAXA DE DEGRADAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA BATERIA AO PAGAMENTO DOS FORNECEDORES OU À SUBSTITUIÇÃO DA BATERIA; E (3) ESTIPULAR A COLETA DE DADOS E OS REQUISITOS DE COMPARTILHAMENTO.

Os contratos com os fornecedores devem deixar claro que o fraco desempenho dos veículos pode resultar em sua devolução, sem que isso penalize o órgão de transporte público[153]. O desempenho e a vida útil da bateria devem estar vinculados aos custos e às garantias do ciclo de vida. Os contratos devem permitir que os órgãos de transporte responsabilizem os fabricantes e garantir flexibilidade para alterar os modelos de ônibus e/ou bateria de acordo com o (sub)desempenho e novas tecnologias. Algumas cidades, como, por exemplo, São Paulo, instituíram multas e incentivos vinculados ao desempenho com o propósito de atingir determinados padrões ambientais e de qualidade dos serviços (ver infográfico abaixo). As inconsistências na degradação da vida útil da bateria podem impactar significativamente o número de anos que uma bateria pode ser usada, bem como sua autonomia. Os contratos devem vincular as promessas dos fornecedores quanto à vida útil da bateria ao pagamento de forma a garantir que o desempenho observado e a vida útil cumpram o prometido[154]. O C40, por exemplo, recomenda uma cláusula de substituição da bateria se as baterias ficarem abaixo de 70% da capacidade durante um período predeterminado de garantia do ciclo de vida[155]. Outras organizações geralmente

149 Graham and Courreges (IFC & C40). 2020. Leading a Clean Urban Recovery with Electric Buses: Innovative Business Models Show Promise in Latin America.
150 Personal communication, ITDP Mexico with the BRT Centre of Excellence. May 2020.
151 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities.
152 January 2021. Personal communication, ITDP Brazil.
153 Horrox & Casale. 2019. Electric Buses in America: Lessons From Cities Pioneering Clean Transportation.
154 Personal communication with ICCT. February 2021.
155 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.

À ESQUERDA: Passageiros em um terminal rodoviário em Pune, Índia. **FONTE:** ITDP India, Flickr.

À DIREITA: Passageiros aguardam seus ônibus no Rio de Janeiro, Brasil. O ITDP Brasil está colaborando com a Prefeitura na eletrificação da frota de ônibus. **FONTE:** Stefano Aguilar ITDP Brazil, Flickr.

recomendam que isso seja feito numa faixa de 60% a 80%. Para rastrear o baixo desempenho, os operadores precisam coletar dados. As cidades devem considerar quais métricas de dados desejam coletar e resumi-las nos contratos. Além disso, é importante que sejam incluídos requisitos de compartilhamento de dados para garantir que as partes interessadas no planejamento possam acessar e utilizar os dados coletados.

PARA ATENDER ÀS METAS AMBIENTAIS: (1) ALINHAR-SE À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E CRIAR REQUISITOS AMBIENTAIS; (2) MONITORAR E AVALIAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS; E (3) CRIAR PENALIDADES CLARAS PARA O NÃO CUMPRIMENTO DOS REQUISITOS AMBIENTAIS.
Os contratos devem estar alinhados à legislação ambiental internacional e nacional em vigor para garantir que os projetos-piloto ou as frotas observem metas ambientais urbanas. Os operadores devem monitorar regularmente as emissões dos veículos e inspecionar se as metas e padrões de níveis de emissão de poluentes estão sendo cumpridos durante o período do contrato. Os contratos devem estipular e aplicar multas ou outras penalidades vinculadas ao cumprimento dos requisitos ambientais e à melhoria da qualidade dos serviços durante o período do contrato (ver “Incentivos ambientais” no infográfico abaixo).

PARA GARANTIR A QUALIDADE DA INFRAESTRUTURA E OPERABILIDADE: (1) INCLUIR REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO; E (2) DESCREVER REQUISITOS PARA AS GARAGENS DE ÔNIBUS.
Os contratos devem determinar que a infraestrutura de carregamento seja interoperável com vários modelos de fabricantes de ônibus para garantir que as cidades não fiquem vinculadas a um único fabricante[156]. Os ônibus elétricos a bateria podem ser particularmente sensíveis a condições climáticas variáveis. Os contratos devem garantir que os depósitos sejam devidamente cobertos e ventilados para permitir o melhor desempenho operacional dos BEBs.

PARA GARANTIR O MANUSEIO ADEQUADO DOS ÔNIBUS DE FORMA A PROLONGAR A VIDA ÚTIL DE ÔNIBUS E BATERIAS: INCLUIR REQUISITOS DE TREINAMENTO ESPECÍFICOS PARA BEBS.
O estilo de condução afeta drasticamente o desempenho das baterias de ônibus elétricos, e a manutenção adequada pode prolongar sua vida útil. Os contratos devem incluir treinamento obrigatório para os funcionários, bem como incentivos de manutenção. Boas práticas adicionais de operações e manutenção estão descritas na seção 7.

156 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.

A tabela abaixo descreve os tipos mais comuns de contratos de operações.

TIPOS COMUNS DE CONTRATOS DE OPERAÇÕES			
TIPO DE CONTRATO	**DESCRIÇÃO**	**VANTAGENS**	**DESVANTAGENS**
Contrato de serviço (custo bruto)	O operador é pago para operar um número mínimo de quilômetros (km) de transporte público ao longo da vigência do contrato em qualquer lugar definido pelo governo municipal. O município é o proprietário das receitas, mesmo que a cobrança seja feita pelo operador.	- Garante uma boa cobertura dos serviços; - Permite a cobrança de tarifas fora dos veículos (off-board) e os traslados gratuitos; - Põe fim à concorrência perigosa nas calçadas; - Compatibiliza as rotas entre zonas e modifica os serviços; - Como é mais fácil ter duas empresas na mesma zona, o operador fica menos enraizado.	- Pouco incentivo ao controle de custos; - Leva ao aumento contínuo dos subsídios operacionais; - Requer autoridade municipal diligente e competente para fiscalizar os serviços; - Pouco incentivo para atrair novos clientes ou garantir a cobrança de tarifas.
Contrato de área (custo bruto)	Um operador é pago para operar um pacote de serviços dentro de determinada zona, em qualquer lugar definido pelo governo municipal, geralmente com base na quilometragem ou no tempo de circulação de cada ônibus. O município é o proprietário das receitas.	- Garante uma boa cobertura dos serviços; - Permite a cobrança de tarifas fora dos veículos (off-board) e os traslados gratuitos; - Põe fim à concorrência perigosa nas calçadas.	- Serviço deficiente entre zonas; - Remove incentivos ao controle de custos, tende a levar a subsídios operacionais crescentes; - Requer autoridade municipal diligente e competente para fiscalizar os serviços; - Pouco incentivo para atrair novos clientes ou garantir a cobrança de tarifas; - Difícil substituir um operador enraizado.
Contrato de área (custo líquido)	Um operador privado fornece um pacote de serviços determinados pela autoridade municipal dentro de uma zona especificada e é proprietário de todas as receitas de tarifas dessa zona.	- Reduz o risco de subsídios ilimitados; - Facilita a formação de grandes empresas; - Permite uma boa coordenação e possível subsídio cruzado dentro da zona; - Mitiga a concorrência destrutiva dentro da zona.	- Serviço deficiente entre zonas; - Dificulta a cobrança de tarifas fora dos veículos (off-board) e os traslados gratuitos; - Limita o controle do poder público sobre o operador; - Dificulta a eliminação de um operador devido à má qualidade dos serviços; - Risco de competição perigosa em corredores compartilhados por várias zonas.
Contrato de rotas (custo bruto)	Os operadores recebem uma licença da autoridade municipal para fornecer serviços de ônibus especificados pelo município em determinadas rotas, mas as receitas são de propriedade da autoridade municipal.	- Garante ao município maior controle sobre os serviços; - Evita concorrência perigosa por clientes na calçada; - Permite a cobrança de tarifas fora dos veículos (*off-board*) e os traslados gratuitos.	- Desencoraja os operadores de garantir a cobrança segura da tarifa; - Cria situações em que o operador tem pouco incentivo para melhorar a eficiência dos serviços; - Reduz a capacidade de resposta a mudanças de serviço necessárias.
Contrato de rotas (custo líquido)	Os operadores recebem uma licença da autoridade municipal para fornecer serviços de ônibus especificados pelo município em determinadas rotas, e todas as receitas de tarifas são de propriedade da operador.	- Minimiza o risco de subsídios abertos e expõe o operador ao risco de demanda; - O operador tem incentivos para arrecadar receitas e operar as rotas de forma eficiente; - Dá ao município algum controle sobre os serviços.	- É difícil fazer alterações na rede; - Não permite o subsídio cruzado de rotas deficitárias com rotas mais lucrativas; - Reduz retornos de escala; - Não é compatível com a cobrança de tarifas fora dos veículos (*off-board*); - Concorrência perigosa por clientes em corredores com múltiplas rotas.
Contrato de projeto-construção-operação	As concessionárias celebram um contrato de longo prazo para projetar, construir e operar um sistema de transporte público. As receitas de tarifas pertencem à contratada.	- Levanta capital para infraestrutura e pode oferecer um bom gerenciamento de projetos para novos serviços; - Pode fornecer serviços coordenados de qualidade.	- Leva aos mesmos problemas que os contratos de serviço de custo bruto, além de haver menos influência do governo (devido à duração do contrato) para alterar os serviços ou controlar a qualidade.
Compartilhamento de lucros	O operador recebe uma parcela predeterminada das receitas totais do sistema, com base em uma fórmula pré-acordada (geralmente vinculada à quilometragem rodada pelos ônibus, ao número de clientes	- Dá aos operadores um forte incentivo para reduzir custos e atrair clientes; - Causa a formação de grandes empresas; - Elimina a concorrência destrutiva por clientes; - Reduz o risco de subsídios necessários.	- Dificulta a negociação antecipada de percentuais; - Às vezes, um elemento do sistema recebe uma parcela desproporcional de lucros; - Dificulta a limitação de recursos se o sistema não for lucrativo.

DESTAQUE SOBRE O ITDP ÍNDIA: CONTRATOS DE CUSTO BRUTO E PROGRAMA NACIONAL FAME-II

Na Índia, os contratos de custo bruto (GCCs) foram incluídos como condição obrigatória para as cidades obterem subsídios para a aquisição de ônibus elétricos no âmbito do programa FAME-II a partir de abril de 2019. Como os subsídios eram importantes para as cidades adquirirem ônibus elétricos, isso levou a uma mudança em grande escala, em todo o país, nos contratos para a operação de ônibus elétricos: de custo líquido para custo bruto. Como resultado, a maioria dos ônibus elétricos na Índia estão sendo operados no âmbito de GCCs.

Faixa exclusiva para ônibus em Pune, Índia
FONTE: ITDP India

PÁGINA AO LADO
TABELA 4: Esta tabela foi adaptada do Guia de Planejamento de BRT do ITDP. Não estão incluídos os tipos de contrato incompatíveis com os BEBs, como, por exemplo, a participação não regulamentada (com ou sem controle de qualidade), em que operadores privados são os proprietários de seus próprios veículos.

Os contratos para projetos-piloto e frotas são essencialmente os documentos de gestão do sistema de transporte público e, como tal, devem estabelecer os deveres específicos de cada parte interessada, tais como responsabilidades operacionais, de gestão e de propriedade do terreno, além de definir os direitos de cada parte interessada, inclusive à compensação. Diagramas para diferentes arranjos financeiros e suas partes interessadas correspondentes são apresentados na seção 6, Custeio, financiamento e modelo financeiro. Alguns dos deveres das partes interessadas são:

PLANEJAMENTO.
Algumas das partes interessadas no processo de planejamento provavelmente serão o governo local, os operador(es), os fabricantes/fornecedores, as concessionárias de serviços públicos, as empresas de construção de infraestrutura e/ou os consultores[157]. O planejamento será iterativo e a seleção de tecnologias para ônibus, baterias e infraestrutura de carregamento não dependerá apenas das tecnologias, mas também do financiamento e da capacidade das partes interessadas.

AQUISIÇÕES.
Dado o alto custo de capital dos BEBs, a aquisição de ônibus pode ser responsabilidade do operador, do governo ou da concessionária. Outras possíveis partes interessadas são os fabricantes/fornecedores ou os financiadores terceirizados. Isso pode variar muito conforme o mecanismo de financiamento (ver seção 6, Custeio, financiamento e modelo financeiro). As aquisições podem ser divididas entre ônibus e baterias. A aquisição de infraestrutura de carregamento é semelhante, mas pode não ser feita pelas mesmas partes que adquirirem os ônibus. Portanto, o financiamento desse tipo de aquisição envolverá outras partes interessadas. A disposição das partes interessadas em colaborar determinará os mecanismos de financiamento possíveis, o que, por sua vez, afetará a estrutura do contrato. Por exemplo, os operadores devem se comunicar com as concessionárias no início do processo de planejamento, pois a viabilidade de diferentes sistemas de carregamento dependerá da disposição da concessionária em colaborar, bem como da capacidade, extensão e política de preços da rede elétrica existente[158].

OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO.
As funções de operação e manutenção dependerão do tipo de carregamento, bem como do regime de propriedade e/ou arrendamento acordado para o sistema em questão. Os contratos devem especificar acordos de nível de serviços entre o governo e o operador, bem como entre os fornecedores e operadores dos ônibus e da infraestrutura de carregamento. Os deveres podem incluir a elaboração de relatórios sobre os desafios operacionais; a condução conforme as garantias do fornecedor; o monitoramento das operações; o planejamento da manutenção; a garantia de disponibilidade de peças de reposição; o relato de dificuldades operacionais; a responsabilidade financeira; e o fornecimento dos materiais necessários[159]. Também é importante que os mecanismos de aquisições e/ou contratos definam qual parte interessada será responsável pela reciclagem ou descarte ao final da vida útil, tanto do ponto de vista financeiro quanto logístico.

DESTAQUE SOBRE O ITDP BRASIL: CONTRATOS PARA VIABILIZAR A ELETRIFICAÇÃO

No Brasil, os modelos de compras e operações de muitas cidades, bem como os rígidos contratos existentes, não permitem a adoção de frotas de ônibus elétricos que poderiam beneficiar as populações urbanas. Isso é importante, pois o grau de flexibilidade ou incentivo à eletrificação nos contratos afetará significativamente o ritmo de adoção de ônibus elétricos no Brasil nos próximos anos e décadas. A modelagem realizada pela Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) indica muitas diferenças na adesão da mobilidade elétrica no Brasil com base em modelos conservadores, moderados e agressivos, com projeções de adoção de mil, 3.925 e 18 mil ônibus até 2030, respectivamente[160]. Para entender as lacunas atuais e as boas práticas, bem como o papel das concessões no incentivo à adoção de BEBs, o ITDP Brasil conduziu uma revisão dos contratos de ônibus elétricos nas principais cidades brasileiras. Os resultados dessa pesquisa aprimorarão os conhecimentos e a capacidade das cidades brasileiras para permitir a eletrificação de suas frotas públicas no longo prazo. As recomendações do estudo (resumidas no infográfico a seguir) estão sendo aplicadas diretamente na colaboração com a cidade do Rio de Janeiro para a aquisição de ônibus elétricos.

157 Orbea et al. 2019. Adapting Procurement Models for Electric Buses in Latin America.
158 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
159 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
160 Plataforma Nacional de Mobilidade Eletrica. 2020. 1o Anuário Brasileiro Da Mobilidade Elétrica.

Ônibus do sistema BRT TransOeste circula livremente em uma faixa exclusiva no Rio de Janeiro, Brasil.
FONTE: Stefano Aguilar, ITDP Brazil.

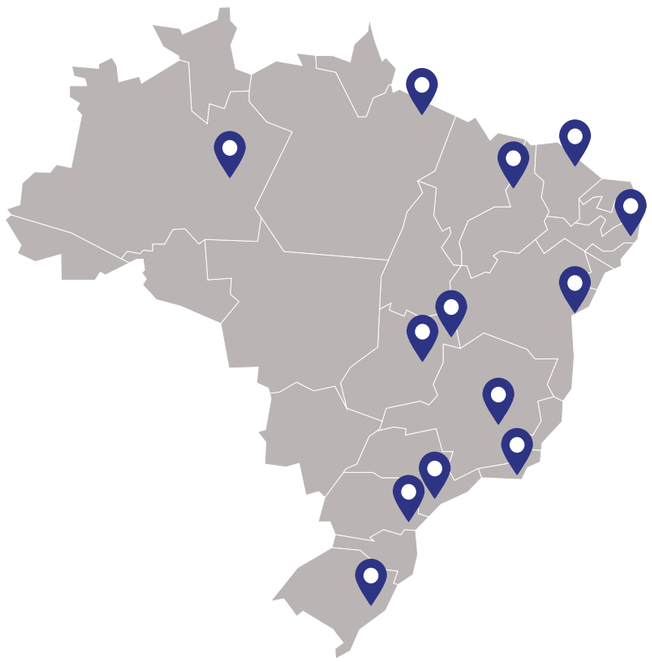
INCENTIVOS NA REGULAMENTAÇÃO PODEM SER CHAVE PARA ELETRIFICAÇÃO

A regulamentação do sistema de transporte público por ônibus gera obstáculos para adoção da eletromobilidade. Vamos mudar isso?

Os contratos devem:

- garantir a competitividade;
- reduzir a emissão de poluentes;
- incorporar novas tecnologias;
- aprimorar a qualidade do serviço.

Confira como esses elementos são considerados nos contratos de 13 capitais brasileiras para incentivar a **eletrificação da frota** ou continuar estimulando a utilização de **frotas movidas a diesel**



CONTRATOS VIGENTES EM 13 CAPITAIS

	*em licitação**
Belém	2008
Belo Horizonte	2012
Brasília	2010
Curitiba	2012
Fortaleza	2008
Goiânia	2011
Manaus	2015
Porto Alegre	2013
Recife	2010
Rio de Janeiro	2014
Salvador	2019
São Paulo	2014
Teresina	2014

**Dentre as cidades analisadas, Belém é a única cujo contrato não se encontra ainda vigente, tendo sido analisado o seu edital de licitação.*

PERÍODO DOS CONTRATOS

77% das cidades têm contratos com duração superior a 15 anos. O número sobe para 92% considerando também o tempo possível de prorrogação.

Curitiba, Fortaleza, Recife e Teresina têm contratos com duração máxima de 15 anos;

O edital de licitação do contrato de Belém tem prorrogação máxima por mais 6 anos.

INCENTIVOS AMBIENTAIS

38% dos contratos não especificam o tipo de tecnologia veicular a ser utilizada, por exemplo Euro III, Euro V, híbridos, elétricos, entre outros;

61% não estabelecem a necessidade de monitoramento ou inspeção das emissões veiculares;

77% não especificam os poluentes que precisam ser monitorados.

Goiânia estabelece um Programa de Responsabilidade Ambiental para monitorar a meta de redução de 20% dos gases de efeito estufa emitidos em até 5 anos;

São Paulo define um Comitê Gestor para o Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas, exige um relatório de emissão anual e estabelece metas de redução de poluentes locais e globais em até 20 anos.

INCENTIVOS FINANCEIROS

62% dos contratos não apresentam sanções ou multas relacionadas ao atendimento de normas ambientais ou níveis de emissão de poluentes;

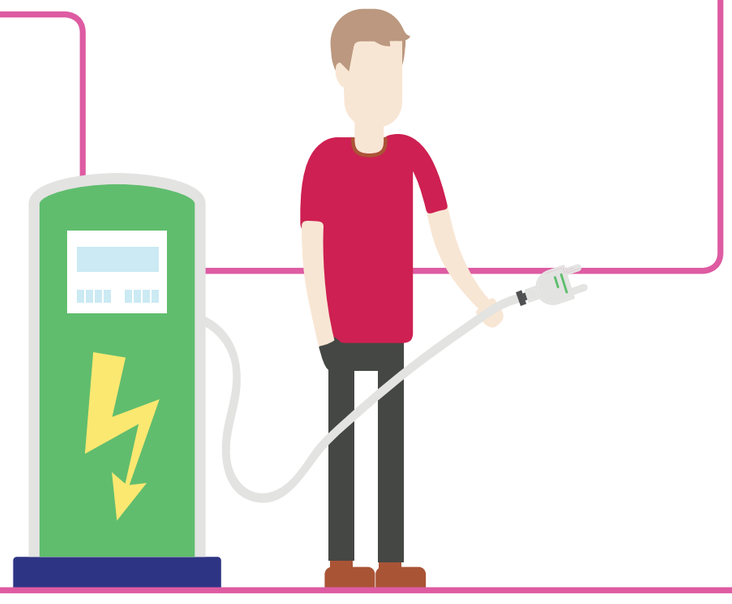
69% não estabelecem multas relacionadas à garantia de desempenho operacional que melhore a qualidade do serviço ao usuário;

61% não apresentam critérios de remuneração que gerem incentivos para aprimorar a qualidade ao sistema.

São Paulo estabelece multas e inclui critérios de remuneração relacionados ao atendimento das metas ambientais;

Fortaleza define multas caso a prestação do serviço não estabeleça inovações tecnológicas que agreguem qualidade ao sistema;

Belém, Curitiba, Porto Alegre e Recife estabelecem critérios na fórmula da remuneração relacionados ao aprimoramento da qualidade do serviço ao usuário.



INCENTIVOS TÉCNICOS

30% dos contratos não fazem menção à obrigatoriedade de atualizações de parâmetros dos veículos como troca de peças, equipamentos ou a tecnologia veicular utilizada;

77% não apontam a regularidade para renovação da frota;

15% não mencionam quais parâmetros devem ser considerados na renovação da frota;

23% dos contratos não estabelecem idade máxima ou média permitida para os veículos durante o período da concessão.

Goiânia e São Paulo estabelecem que a renovação da frota deve ser feita de forma regular e com o objetivo de reduzir impactos ambientais;

Brasília, Porto Alegre, Salvador e São Paulo mencionam a mudança para ônibus elétricos como parâmetro para renovação;

Recife menciona que a prioridade de renovação deve ser dos veículos mais velhos, e que os veículos novos devem possuir selo verde.

ASPECTOS OPERACIONAIS

Para acomodar e carregar os ônibus elétricos de forma segura e eficiente, as garagens devem possuir tamanho adequado e serem cobertas e arejadas para evitar a exposição dos veículos e da bateria às variações climáticas.

54% dos contratos não mencionam a cobertura como requisito para as garagens;

46% não definem área mínima para abastecimento no pátio e no estacionamento, deixando-a atrelada apenas à quantidade e tipologia de veículos da frota.

Brasília e Goiânia apontam a importância de local coberto e arejado para o abastecimento dos veículos.

Os veículos elétricos precisam ser operados de forma diferente dos veículos convencionais. O treinamento de funcionários e condutores deve considerar os requisitos específicos para capacitação neste tipo de tecnologia.

53% dos contratos não fazem menção à capacitação obrigatória dos funcionários. Esse valor sobe para 77% ao considerar especificamente treinamentos relacionados à utilização de novas tecnologias, à qualidade do serviço prestado ou à redução de emissões;

São Paulo é o único que conta com um programa de treinamento específico para tecnologias ou ações que levem à redução da emissão de poluentes;

Fortaleza e Belém mencionam a necessidade de capacitações para aprimorar a qualidade do serviço prestado.

VISITE **ITDPBRASIL.ORG** PARA MAIS INFORMAÇÕES SOBRE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL E DE BAIXO CARBONO.

Realização: ITDP

Apoio: iCS

Vehículo 100% eléctri
Alcaldía de Medellín

CUSTEIO, FINANCIAMENTO E MODELO FINANCEIRO

PÁGINA AO LADO
Mulher desembarca de um ônibus elétrico em Medellin, Colômbia. Como em muitas cidades, a adoção de ônibus elétricos em Medellin foi um processo que envolveu várias partes interessadas, inclusive o C40 (como se vê na imagem).
FONTE: Secretaría de Movilidad de Medellín, Flickr.

6

Os ônibus elétricos a bateria podem precisar de um modelo financeiro diferente daquele adotado para outras tecnologias de ônibus devido às diferenças em despesas de capital e operacionais de ônibus elétricos e não elétricos. O modelo financeiro é o equilíbrio entre despesas, capital e operações, considerando as fontes potenciais de receita. Em geral, as despesas de capital são (frequentemente) investimentos únicos em ativos como ônibus e garagens, ao passo que as despesas operacionais incluem custos de pessoal, administração, taxas de financiamento de dívidas, manutenção do sistema e (se houver envolvimento do setor privado) retorno sobre o investimento. Em conjunto, essas são as despesas do modelo financeiro. As receitas do modelo financeiro podem incluir receitas contínuas, como receitas de caixa, ou investimentos do governo para despesas operacionais. Também podem incluir aportes únicos de receitas (por exemplo, para despesas de capital) por meio de doações ou subsídios.

O financiamento de BEBs difere daquele de ônibus a diesel e GNC, pois o equilíbrio entre despesas de capital e operacionais é significativamente distinto. Os custos de capital dos BEBs podem ser duas a três vezes superiores aos dos ônibus a diesel, ao passo que as despesas operacionais são de uma vez e meia a quatro vezes menores. Devido a isso, o financiamento da aquisição dos ônibus é o desafio mais frequentemente mencionado pelas cidades na transição rumo à eletrificação. Apesar do custo inicial mais alto dos ônibus elétricos, no entanto, os BEBs costumam gerar uma economia de custos ao longo de sua vida útil. ***Para capturar essas vantagens financeiras, é necessário repensar o modelo financeiro tradicional para operações de ônibus públicos por meio do custo total de propriedade (TCO).*** O custo total de propriedade é o custo ao longo de toda a vida útil de um ativo, que inclui a aquisição (custos de capital) e a manutenção (custos operacionais e de manutenção) de ônibus, bem como os custos de instalação e manutenção da infraestrutura de carregamento. Compreender as mudanças no modelo de TCO é vital para justificar os BEBs. Isso afetará o modelo financeiro de ônibus elétricos, que precisará encontrar um equilíbrio entre despesas e receitas, apesar dos custos de capital iniciais mais altos e das despesas operacionais mais baixas que as de sistemas de ônibus ICE tradicionais.

CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE

Um número crescente de pesquisas confirma que, embora os BEBs requeiram um grande investimento inicial, eles podem ter custos totais mais baixos que os ônibus tradicionais a diesel ou GNC ao longo de uma vida útil média (10 a 15 anos)[161]. As estimativas da Bloomberg New Energy Finance demonstram que os ônibus elétricos com baterias menores (110 kWh) e carregamento lento (noturno) em garagens podem atingir paridade de TCO com ônibus a diesel considerando uma quilometragem anual de cerca de 34 mil km por um período superior a 10 anos. Os ônibus elétricos com baterias maiores (250 kWh e 350 kWh) com carregamento lento, por sua vez, atingem a paridade após 10 anos de uso com uma quilometragem de 44 mil km e 80 mil km, respectivamente[162]. Para um ônibus com bateria de 110 kWh usando carregamento sem fio, a paridade é alcançada com cerca de 60 mil quilômetros anuais em 10 anos de uso[163] [164]. A competitividade do TCO de ônibus elétricos varia de acordo com a cidade. Por exemplo, um estudo do Banco Mundial constatou que, em Santiago, o TCO dos BEBs é competitivo com o dos ônibus a diesel e GNC, ao passo que, em Buenos Aires, o TCO dos BEBs permanece mais alto[165]. Análises de TCO em São Paulo e na Cidade do México detectaram pequenas economias no caso dos BEBs[166]. No entanto, muitos outros estudos indicam que, embora os BEBs devam atingir paridade de TCO com os ônibus a diesel e GNC na próxima década, ainda não há um equilíbrio[167]. O prazo para que o TCO dos BEBs se equipare ao dos ônibus a diesel e GNC varia significativamente entre países e regiões. Segundo estimativas, alguns países europeus atingiriam a paridade entre 2025 e 2035, ao passo que, na América do Norte, isso não deve ocorrer antes de 2050[168]. Alguns dos motivos para essa variação são:

161 Esses estudos costumam ser baseados em modelos, pois o mercado está em constante evolução e muitos veículos e baterias ainda não completaram seus ciclos de vida totais.
Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
162 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
163 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
164 É importante observar que poucos ônibus atingiram um ciclo de vida completo. Portanto, esses cronogramas de paridade de TCO são estimados, e há um risco de imprecisão nas estimativas.
165 International Finance Corporation (IFC, World Bank). 2020. E-Bus Economics: Fuzzy Math?
166 C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.
167 Lowell (MJB & A). 2019. Electric Bus 101: Economics, Politics, Myths, & Facts.
168 Lowell (MJB & A). 2019. Electric Bus 101: Economics, Politics, Myths, & Facts.

O TCO de ônibus elétricos pode ser menor nos casos em que: o preço do combustível for alto, o preço da eletricidade for baixo, os impostos de importação locais e nacionais forem baixos, os fabricantes de BEBs estiverem disponíveis e forem competitivos, os ônibus tiverem uma alta quilometragem e as baterias/infraestrutura de carregamento forem adequadas para o clima e a topografia locais[169].

O TCO de ônibus a diesel/GNC pode ser menor nos casos em que: o preço do combustível for baixo, a modernização dos serviços públicos for necessária, as importações de BEBs forem altas, os ônibus tiverem baixa quilometragem e o preço e a demanda da eletricidade forem altos[170].

Dada a inversão de despesas de capital e operacionais entre ônibus ICE e BEBs, as cidades precisarão repensar os investimentos em ônibus públicos, o papel e os investimentos dos operadores e o modelo financeiro de forma mais geral no âmbito da estrutura dos custos totais de propriedade.

Recursos de apoio e mecanismos inovadores de financiamento podem permitir às cidades eletrificar suas frotas, alcançando um TCO competitivo para os BEBs. Em muitas regiões, como China e Europa, os subsídios governamentais garantem aportes iniciais para permitir que as cidades financiem de forma viável a eletrificação de suas frotas de ônibus. Em outras regiões, como a América Latina, a colaboração com fontes de capital, como, por exemplo, bancos multilaterais de desenvolvimento, viabilizou mecanismos de financiamento inovadores para projetos-piloto e frotas inteiras que reduzem os custos iniciais e tornam os custos dos ônibus elétricos comparáveis aos dos ônibus a diesel e GNC durante a vida útil do veículo[171]. Alguns dos desafios financeiros mais comuns são: altos custos dos ônibus; altos custos iniciais para a implantação de infraestrutura de carregamento e aquisição de terrenos; falta de mecanismos de financiamento flexíveis e viáveis; incerteza sobre os custos da energia elétrica; e baixas taxas de substituição (ou seja, necessidade de mais de um ônibus elétrico em substituição a cada ônibus a diesel para manter as mesmas operações)[172]. A próxima seção analisa os custos de capital com mais profundidade, com foco em mecanismos de custeio e financiamento; apresenta uma breve visão geral das despesas operacionais; e conclui com uma explicação de como as despesas operacionais e de capital de novos ônibus elétricos se relacionam com o modelo financeiro. São necessárias mais pesquisas para compreender a melhor forma de custear e financiar a infraestrutura de carregamento. Além disso, uma vez que o TCO da maioria dos ônibus a diesel não inclui a infraestrutura de reabastecimento, vale a pena considerar a separação dos custos de infraestrutura de carregamento do TCO, bem como adotar subsídios ou aportes únicos para cobrir tais custos. Custos de capital e despesas operacionais são frequentemente cobertos por diferentes fontes de receita. Portanto, esses custos são analisados separadamente nas seções a seguir.

Os ônibus elétricos a bateria podem ter um TCO mais competitivo que os ônibus a diesel nas cidades em que os ônibus públicos percorrem uma alta quilometragem anual. Na imagem, os ônibus circulam em faixas exclusivas em Guangzhou, China. **FONTE:** NACTO, Flickr.

169 Johnson et al. (NREL). 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
170 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
171 ZEBRA & P4G. 2020. Accelerating a Market Transition in Latin America: New Business Models for Electric Bus Development.
172 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.

6.1
CUSTOS DE CAPITAL

Os custos de capital para testar e adotar BEBs variam de acordo com o país, o sistema de carregamento, o mecanismo de financiamento e as opções de custeio disponíveis. Os custos de capital serão normalmente cobertos por dois mecanismos de financiamento principais: (1) patrimônio líquido, em que os recursos são disponibilizados em troca de uma participação no empreendimento, podendo incluir um aporte inicial de um empréstimo (pagamento inicial para os componentes-chave acima, com o restante sendo financiado ao longo do tempo com empréstimos, *leasing* ou outro mecanismo de financiamento); e (2) financiamento de dívida, como um empréstimo ou outros pagamentos programados de longo prazo (pagamentos iniciais e/ou de juros ao longo do tempo)[173]. Outras formas de cobrir os custos de capital são os mecanismos de custeio, como doações e subsídios governamentais. Os principais custos de capital de BEBs são:

- Aquisição de ônibus e baterias;
- Equipamento e instalação da infraestrutura de carregamento;
- Construção/reforma de garagem ou estação; e
- Custos de pessoal e treinamento antes do início das operações e do recebimento de receitas.

Conforme mencionado anteriormente, os custos variam significativamente devido a uma série de fatores. Os custos de infraestrutura, tais como as garagens e/ou a instalação de carregadores, variarão conforme o tipo de sistema de carregamento e disponibilidade de terrenorras. Embora o carregamento tradicional exija a modernização das garagens de ônibus, as opções de carregamento de oportunidade e sem fio ao longo da rota podem exigir mudanças maiores nas vias por onde trafegarem os ônibus, em que o ambiente pode ser mais complexo para a construção. Mais que a maioria dos outros fatores, os custos variam significativamente com base na região. Para dar uma ideia dessa variação regional, a tabela abaixo apresenta os preços médios de ônibus a diesel em comparação aos elétricos em cinco regiões geográficas.

TABELA 5. Comparação do custo aproximado dos ônibus a diesel e elétricos (modelos não articulados) baseada em dados de 2012 a 2013 e atualizada com dados mais recentes em 2021. Embora sejam baseados em dados mais antigos, esses números dão uma ideia da diferença proporcional entre os tipos de ônibus, e os dados sobre os modelos a diesel permanecem relativamente inalterados. Por exemplo, uma pesquisa publicada em 2020 indica que, nos EUA, o custo aproximado de um ônibus a diesel era de US$ 450 mil, e de um BEB, entre US$ 550 mil e US$750 mil, o que reflete os valores norte-americanos indicados acima[184]
*A média global não é ponderada por unidades vendidas, mas é uma média do custo entre as regiões. Fonte principal: Grütter, 2014.[185]
Outras fontes de dados específicos de cada país são citadas nas notas de rodapé.

País	Custo inicial de ônibus a diesel (em dólares americanos)	Custo inicial de BEB (em dólares americanos)	Variação percentual aproximada dos veículos elétricos
China[174]	$ 60,000–$90,000	$ 140,000–$350,000	~ 250%
Europa[175] [176]	$244,000–$420,500	$575,000–$807,000	~ 110%
Índia[177] [178]	$30,000–$80,000	$105,000–$250,000	~ 220%
América Latina[179] [180]	$200,000–$225,000	$260,000–$475,000	~ 75%
América do Norte[181] [182] [183]	$300,000–$510,000	$550,000–$1,200,000	~ 115%
Média global*	~ $210,000	~ $480,000	~ 155%

Os custos dos ônibus elétricos variam significativamente de uma região para outra. Nos EUA, podem custar de duas a quatro vezes mais que na China. Passageiros embarcam em um ônibus de dois andares Superlo na Cidade de Nova Iorque, EUA. **FONTE:** Metropolitan Transportation Authority of the State of New York, Flickr.

173 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.
174 C40 Cities Finance Facility & Grutter Consulting. 2018. Evaluation of Electric Buses for Eje 8 Sur.
175 Assumes 1.1068 USD to EUR for 2016. Laizans et al. 2016. Economic Viability of Electric Public Buses: Regional Perspective.
176 Assumes 1.122 USD to EUR for 2019. Meishner & Sauer. 2019. Technical and Economic Comparison of Different Electric Bus Concepts Based on Actual Demonstrations in European Cities.
177 Khandekar et al. 2018. The Case for All New City Buses in India to Be Electric.
178 Personal communication, ITDP India, March 2021.
179 Lefevre et al. (Inter-American Development Bank). 2019. Bogotá Is a Pioneer in Acquiring Electric Buses by Tender.
180 World Bank. 2019. Green Your Bus Ride: Clean Buses in Latin America.
181 Quarles et al. 2020. Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets.
182 C40 Cities Finance Facility & Grutter Consulting. 2018. Evaluation of Electric Buses for Eje 8 Sur.
183 MJB & A. 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis.
184 Quarles et al. 2020. Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets.
185 Grutter Consulting. 2014. Real World Performance of Hybrid and Electric Buses.

Da mesma forma, os custos das baterias variam significativamente com base na região, no tipo e tamanho da bateria e no fabricante. É difícil fornecer estimativas para cada ônibus elétrico dada a variação nos preços das baterias. Além disso, o preço das baterias é frequentemente representado como custo (US$) por kWh de capacidade. O custo por kWh pode variar entre US$ 100 e US$ 500, e as cidades podem escolher diversos tamanhos de baterias. Para dar uma ideia da variação regional, o custo médio das baterias de ônibus na China é de cerca de US$ 105/kWh, ao passo que, na América do Norte, elas variam de US$ 300 a US$ 500/kWh, em média[186 187]. Um estudo norte-americano sobre os custos de BEBs estimou que o preço da bateria de um ônibus de US$ 550 mil seria US$ 100 mil (presumindo um valor de US$ 500/kWh e uma bateria de 200 kWh). Outro estudo estimou a bateria em US$ 150 mil (250 kWh) para um custo total do BEB entre US$ 650 mil e US$ 700 mil[188 189]. Um terceiro estudo avaliou baterias entre US$ 60 mil a US$ 72 mil[190]. Esses preços estão diminuindo à medida que as tecnologias avançam continuamente.

Tal como acontece com outros custos iniciais, os custos da infraestrutura de carregamento variam amplamente, dependendo do tipo de carregamento selecionado, da região e da capacidade/extensão da rede local existente. Uma revisão da situação na América do Norte concluiu que apenas o equipamento de carregamento *plug-in* pode custar de US$ 19 mil a US$ 50 mil, ao passo que a instalação da infraestrutura pode custar de US$ 5 mil a US$ 55 adicionais[191]. O custo da infraestrutura de carregamento por pantógrafo em rota ou de carregamento sem fio aumenta para US$ 241 mil a US$ 500 mil, com custos de instalação de US$ 50 mil a US$ 250 mil[192]. É um desafio obter estimativas para outras regiões, mas como acontece com baterias e ônibus, é de se esperar que os valores flutuem com base nos custos de importação e na capacidade de fabricação local.

Dada a gama limitada de BEBs (e a falta de uma eficiência operacional ideal), é improvável, neste momento, que qualquer cidade alcance uma taxa de substituição de 1:1. Atualmente, taxas entre 1,5:1 e 1,1:1 são consideradas favoráveis, em geral, dados os desafios das operações atuais, que impedem o atingimento de uma taxa de substituição perfeita de 1:1. Algumas cidades — especialmente na última década, em que as frotas de ônibus ainda eram muito incipientes — tinham taxas de substituição de 2:1 ou mais. Por exemplo, a taxa de substituição era muito maior que 1:1 em muitas cidades chinesas, a saber: Beijing (2:1), Wuhan (1,9:1), Shenzhen (1,7:1), Qingdao (1,5:1) e Chongqing (1,5:1)[193]. Em Santiago, a cidade atingiu uma taxa de substituição de 1,1:1, o que estabeleceu uma boa prática para as cidades chegarem o mais próximo possível de uma proporção de 1:1[194]. Não apenas o custo de capital dos ônibus é muito mais alto no início, mas as altas taxas de substituição aumentam ainda mais as despesas iniciais. É fundamental que o planejamento, a aquisição, a instalação e as operações diminuam a taxa de substituição para reduzir os custos do sistema.

TAXA DE SUBSTITUIÇÃO DE ÔNIBUS A DIESEL POR ELÉTRICOS EM CIDADES SELECIONADAS

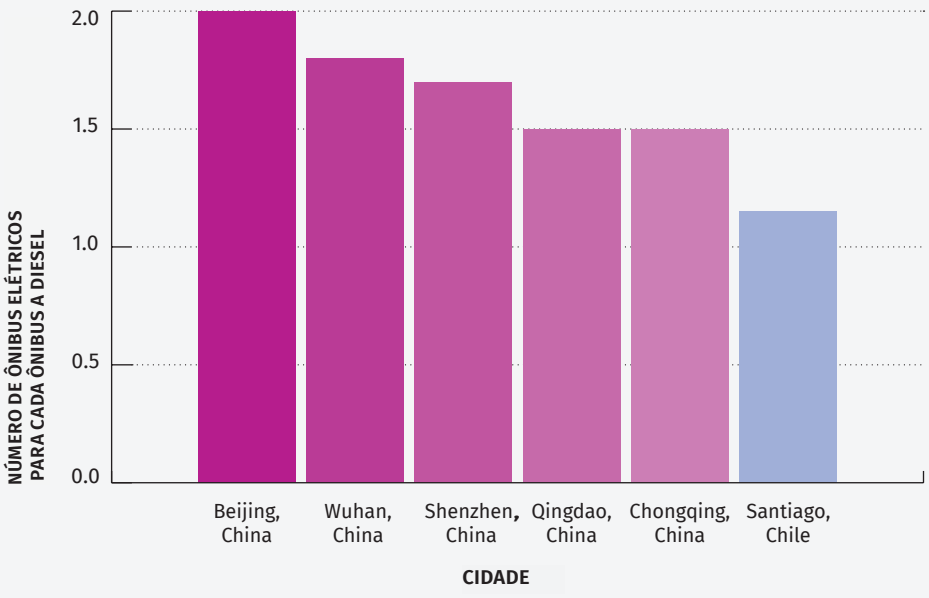


FIGURA 8.[195] Quanto mais uma cidade conseguir se aproximar de uma taxa de substituição de 1:1, melhor será a viabilidade financeira de suas frotas de BEBs. O gráfico apresenta a taxa de substituição de BEBs em várias cidades. Em geral, taxas de 1:1 a 1,5:1 são considerados favoráveis no momento. O foco atual em melhorar a eficiência operacional para prolongar o uso e a confiabilidade dos ônibus elétricos deve render taxas de substituição continuamente mais baixas.

186 Scott (Forbes). 2020. Ever-Cheaper Batteries Bring Cost of Electric Cars Closer to Gas Guzzlers.
187 Quarles et al. 2020. Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets.
188 Quarles et al. 2020. Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets.
189 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
190 Deliali et al. 2020. Transitioning to Zero-emission Bus Fleets: State of Practice of Implementations in the United States.
191 Deliali et al. 2020. Transitioning to Zero-emission Bus Fleets: State of Practice of Implementations in the United States.
192 Deliali et al. 2020. Transitioning to Zero-emission Bus Fleets: State of Practice of Implementations in the United States.
193 Jin (ICCT). 2020. Preparing to Succeed: Fleet-Wide Planning Is Key in the Transition to Electric Buses.
194 Jin (ICCT). 2020. Preparing to Succeed: Fleet-Wide Planning Is Key in the Transition to Electric Buses.
195 Jin (ICCT). 2020. Preparing to Succeed: Fleet-Wide Planning Is Key in the Transition to Electric Buses.

ESTIMATIVA DE CUSTOS

Com o crescimento do mercado de BEBs e o interesse em diminuir as barreiras à sua entrada no mercado, várias organizações criaram ferramentas para as cidades estimarem os custos de suas frotas. O Pnuma criou a Calculadora eMob, que permite aos usuários estimar os custos e emissões de cidades e países[196]. O programa HVIP da Califórnia criou uma ferramenta de custo total de propriedade (TCO), a TCO Estimator[197]. Também há outras ferramentas disponíveis, e as cidades podem identificar ferramentas regionais específicas para seu próprio planejamento.

6.2 MECANISMOS COMUNS DE CUSTEIO E FINANCIAMENTO DE ÔNIBUS E BATERIAS

A abordagem mais comum para investimentos de capital em sistemas de BEBs é uma combinação de custeio (como doações e subsídios) e financiamento. Devido aos custos mais altos dos ônibus elétricos, pode ser necessário algum tipo de subsídio ou aporte direto no início, até que os custos atinjam mais paridade no futuro. A tabela a seguir apresenta uma visão geral das diferentes opções de custeio e financiamento, com uma descrição dos mecanismos mais comuns em uso atualmente.

TABELA 6. Comparação de mecanismos de financiamento comuns para BEBs.

MECANISMOS	VANTAGENS	CONSIDERAÇÕES
Custeio com recursos ou subsídios existentes	+ Modelo comum e relativamente simples. + Os recursos não precisam ser reembolsados. + Atua como um catalisador para a transição.	- Alto ônus inicial. - Exige um grande volume de recursos ou subsídios e, por isso, não é possível em todos os lugares. - Não leva necessariamente a uma transição da frota em grande escala.
Financiamento de dívida, inclusive por meio de empréstimos concessionais e títulos verdes	+ Distribui os custos ao longo do tempo, permitindo menor ônus inicial. + Os empréstimos concessionais podem oferecer empréstimos flexíveis e taxas de juros muito mais baixas, tornando-os mais acessíveis.	- Pode não oferecer apoio financeiro suficiente. - Pode exigir coordenação adicional entre várias partes interessadas (se envolver empréstimos de bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais).
Leasing de componentes (baterias)	+ Ao transformar alguns custos de capital em despesas operacionais, equilibra as despesas iniciais e contínuas. + Às vezes, pode ser combinado a uma melhor manutenção ou substituição de componentes por parte dos fabricantes. + Permite a transição da frota em grande escala.	- Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Depende da existência de partes interessadas dispostas.
Leasing operacional	+ Distribui o financiamento, permitindo menos ônus total concentrado em uma das partes. + Permite a transição da frota em grande escala.	- Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Depende da existência de partes interessadas dispostas. - Pode aumentar no longo prazo à medida que mais partes se envolverem.
Leasing financeiro	+ Distribui o financiamento, permitindo menos ônus total concentrado em uma das partes. + Pode ser uma opção muito mais robusta financeiramente. + Permite a transição da frota em grande escala.	- Envolve mais partes interessadas e responsabilidades divididas. - Depende da existência de partes interessadas dispostas. - Pode aumentar no longo prazo à medida que mais partes se envolverem.

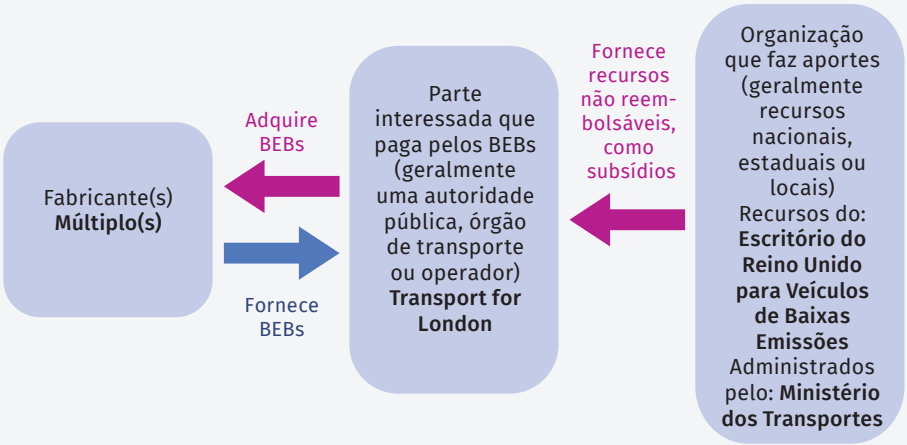
196 UN Environment, n.d. Electric buses.
197 California HVIP, n.d. HVIP Total Cost of Ownership Estimator.

CUSTEIO COM RECURSOS OU SUBSÍDIOS EXISTENTES.
Neste mecanismo, o órgão/operador de transporte público assume os custos de capital por meio de apoio orçamentário direto ou subsídios[198]. Compras diretas com recursos orçamentários públicos são relativamente comuns na Europa e nos Estados Unidos, onde o transporte público é gerido por entes estatais[199]. No entanto, em regiões com recursos limitados, esta opção geralmente se torna inviável. Quando as operações são terceirizadas, alguma forma de concessão de recursos ou apoio também pode ajudar a reduzir a necessidade de financiamento, visto que os governos frequentemente ajudam o setor privado a mitigar os riscos para a adoção de novas tecnologias ou inovações[200]. Tanto no caso do aporte direto quanto no custeio combinado com outros mecanismos de financiamento, é comum fazer uso de subsídios ou oportunidades financeiras semelhantes para a aquisição de BEBs. A compra direta com subsídios é especialmente importante (embora em declínio) na China, onde os subsídios governamentais desde 2009 permitiram um crescimento exponencial dos mercados de ônibus elétricos e de novas tecnologias. Na Índia, alguns programas de subsídios federais, como o FAME I e o FAME II, oferecem oportunidades importantes. Nos EUA, há programas estaduais, como o Projeto de Incentivo para Caminhões e Ônibus Híbridos e de Zero Emissão na Califórnia, e programas de subsídios federais, como o Programa de Ônibus de Emissões Baixas ou Zero, além de outros, como os Fundos de Compensação de Emissões da Volkswagen[201]. O programa FAME deve ser visto mais como um catalisador para a fase de transição, podendo não ser escalonável no longo prazo.

PROPRIEDADE: Operador ou órgão de transporte/governo[202]

CIDADES EM QUE É ADOTADO: Várias cidades na Europa (inclusive no Reino Unido)[203], nos Estados Unidos e na China.

COMPRAS DIRETAS COM SUBSÍDIOS (EXEMPLO DE LONDRES, REINO UNIDO)



FINANCIAMENTO DE DÍVIDA, INCLUSIVE POR MEIO DE EMPRÉSTIMOS CONCESSIONAIS E TÍTULOS VERDES.
Neste mecanismo, o órgão ou operador de transporte público utiliza empréstimos flexíveis para custos de capital, reembolsando o(s) credor(es) durante determinado período de tempo. Tais credores podem ser bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais ou fundos ambientais internacionais, como o Fundo Verde do Clima [*Green Climate Fund*] ou o Fundo Global para o Meio Ambiente [*Global Environmental Facility*], cuja motivação é promover o desenvolvimento urbano e cumprir as metas de mudanças climáticas[204]. Empréstimos concessionais para os operadores oferecem condições de empréstimo flexíveis — como taxas de juros baixas ou cronogramas de reembolso mais longos — que representam uma alternativa financeiramente mais durável à compra definitiva. Esse mecanismo foi usado em Curitiba (o operador comprou ônibus elétricos híbridos da Volvo com um empréstimo flexível do BNDES, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social do Brasil) e Bogotá (da mesma forma, os operadores receberam apoio financeiro do banco colombiano Bancoldex, que recebeu apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento, do BNDES e da Agência Sueca de Crédito à Exportação)[205]. Uma parte dos empréstimos é destinada ao financiamento de capital, e a outra parte, ao financiamento de dívida. O montante do financiamento de capital determinará quanto das taxas de serviço do financiamento da dívida precisarão ser cobertas pelas despesas operacionais. Este mecanismo é cada vez mais usado à medida que mais e mais bancos de desenvolvimento trabalham com tais empréstimos e os custos de capital diminuem com a queda dos custos de baterias e infraestrutura de carregamento. Tamil Nadu, um estado no sul da Índia, está adquirindo ônibus

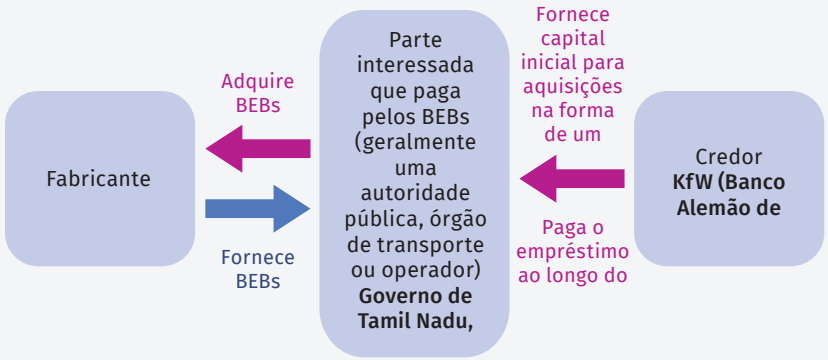
198 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
199 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
200 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
201 Liu. 2019. The U.S. Electric Bus Transition: An Analysis of Funding and Financing Mechanisms.
202 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.
203 Gomez Jattin (GIZ). 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.
204 Gomez Jattin (GIZ). 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.
205 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
206 Comunicação pessoal, ITDP India, novembro de 2020.

elétricos por meio de um empréstimo do KfW (Banco Alemão de Desenvolvimento), com a maioria sendo implantada na capital, Chennai[206]. Da mesma forma que os empréstimos concessionais e os mecanismos de subsídios, os títulos verdes são usados para reduzir restrições financeiras iniciais. Este mecanismo utiliza títulos verdes em que 95% dos rendimentos dos títulos contribuem para projetos ambientalmente benéficos — no caso, a eletrificação do transporte público[207]. Este mecanismo inovador de financiamento já foi usado em Tianjin, na China[208] e é cada vez mais comum na Suécia[209].

PROPRIEDADE: Operador ou órgão de transporte/governo[210].

CIDADES EM QUE É ADOTADO: Tamil Nadu (Chennai), Índia; Curitiba, Brasil; Bogotá, Colômbia[211]; Tianjin, China[212]; Suécia (várias cidades)[213].

COMPRA DIRETA COM EMPRÉSTIMO (EXEMPLO DE CHENNAI, ÍNDIA)



LEASING DE COMPONENTES (BATERIAS).

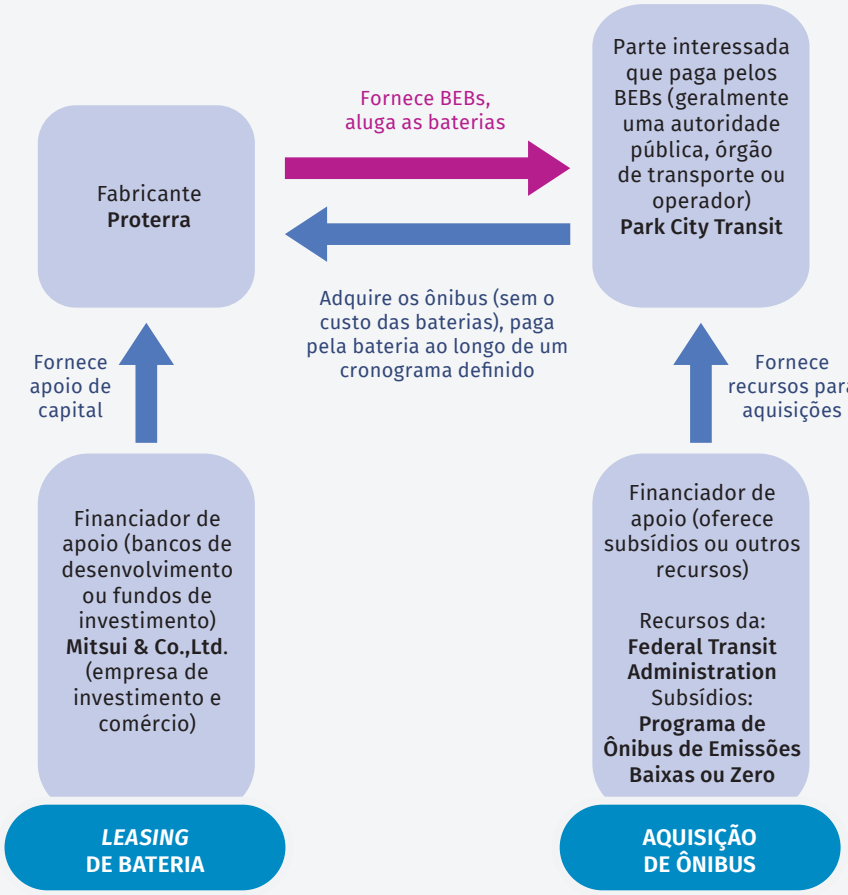
INeste mecanismo de *leasing* com opção de compra, o operador de transporte público ou governo aluga o ônibus e/ou bateria do fabricante ou fornecedor (muitas vezes com o suporte de financiadores terceiros, como bancos de desenvolvimento ou empresas de financiamento de nicho[214]) para reduzir o risco financeiro inicial. Quando alguns componentes são comprados (como infraestrutura) e outros são arrendados (como ônibus e/ou baterias), o custo inicial é comparável ao de ônibus a diesel e GNC[215]. Isso beneficia os fabricantes ao aumentar o grupo de operadores de transporte interessados que podem arcar com os custos da eletrificação por meio deste modelo; e beneficia os operadores ao tornar os BEBs uma opção financeira viável tanto no início quanto durante a vida útil do veículo. Financiadores terceirizados, como bancos de desenvolvimento, são motivados a apoiar projetos de eletrificação para atingir metas ambientais e sociais. Além disso, o contrato de *leasing* nem sempre é o único mecanismo financeiro — pode ser combinado com subsídios ou empréstimos para reduzir ainda mais os custos iniciais[216]. Este mecanismo foi usado em Bogotá com a Volvo, em conjunto com o empréstimo aos operadores para a aquisição de ônibus elétricos híbridos[217]; e em Park City, Utah, EUA, com a empresa Proterra[218]. Além do benefício da redução dos custos iniciais, mecanismos de *leasing* de baterias costumam incluir garantias de vida útil da bateria (12 anos no caso da Proterra), garantias de desempenho e/ou substituição das baterias no meio de sua vida útil[219], o que é particularmente benéfico, pois os operadores podem obter as mais recentes tecnologias de bateria sem custos exorbitantes. As informações disponíveis sobre as melhores práticas de *leasing* de baterias em Bogotá e outras cidades ainda são relativamente limitadas, mas o interesse crescente e o uso deste modelo devem se traduzir em boas práticas nos próximos anos.

PROPRIEDADE: O fabricante pode ser o proprietário do ônibus e/ou bateria; e o operador ou o órgão de transporte/governo pode ser proprietário do ônibus, bateria e/ou infraestrutura[220].

CIDADES EM QUE É ADOTADO: Bogotá, Colômbia; São Paulo, Brasil; Park City, UT, EUA[221].

207 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
208 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
209 Soderlundh, (presentation) 2016. Fossil Free Sweden: Supporting Local Government Climate Action Through Green Loans & Green Bonds.
210 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.
211 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
212 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
213 Soderlundh, (presentation) 2016. Fossil Free Sweden: Supporting Local Government Climate Action Through Green Loans & Green Bonds.
214 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.
215 Blanco. 2019. Proterra Ready for Electric Bus Battery Leasing With $200-Million Credit Facility.
216 Gomez Jattin (GIZ). 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.
217 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
218 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
219 Blanco. 2019. Proterra Ready for Electric Bus Battery Leasing With $200-Million Credit Facility.
220 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.
221 Proterra. 2019. Financing EV Fleets with Proterra Battery Leasing Program.

LEASING DE BATERIAS (EXEMPLO DE PARK CITY, UT, ESTADOS UNIDOS)



DESTAQUE SOBRE CONTRATOS DE *LEASING* PARA BATERIAS: BOGOTÁ E SÃO PAULO

Em Bogotá, a parceria da Volvo com dois operadores privados forneceu 300 ônibus elétricos híbridos para o TransMilenio, o sistema BRT da cidade[222]. O custo dos ônibus foi desmembrado das baterias, com os operadores privados comprando os ônibus da Volvo, e a cidade firmando um contrato de *leasing* de 12 anos para as baterias. O contrato envolve um parcelamento mensal a ser pago pela prefeitura, que abrange um contrato de prestação de serviços de cinco anos e um contrato de proteção de 12 anos[223] [224]. Ao longo deste prazo, a Volvo permanece proprietária das baterias até que todas as parcelas sejam pagas; após isso, a cidade de Bogotá assume a propriedade das baterias de seus ônibus. Para a aquisição dos ônibus, os operadores privados usaram empréstimos concessionais. A parceria reduziu o custo total de propriedade inicial e incentivou uma adesão mais rápida às baterias elétricas[225]. Desde que esses ônibus híbridos foram adotados, Bogotá vem adquirindo BEBs (e terá mais de 1.400 até 2022)[226]. Da mesma forma, em São Paulo, o *leasing* de baterias foi utilizado para 15 BEBs em 2018. Para o projeto-piloto, a BYD ajudou a financiar os veículos (com 20% de entrada e 60 prestações com juros de mercado). A prefeitura firmou um contrato de *leasing* das baterias (R$ 9.500,00/mês, equivalente a cerca de US$ 1.700/mês) a ser pago em 15 anos. Dessa forma, os mecanismos de financiamento podem ajudar a reduzir as barreiras para o financiamento da frota, bem como para o projeto-piloto inicial.

222 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
223 Welch et al. 2020. Moving Zero Emission Freight Towards Electrification.
224 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
225 Automotive World. 2013. Volvo Sells 200 Hybrid Buses to Bogotá, Colombia,
226 Sustainable Bus. 2021. BYD in Colombia, the Awarding of a 1,002 Unit Tender for Transmilenio (Bogotá).

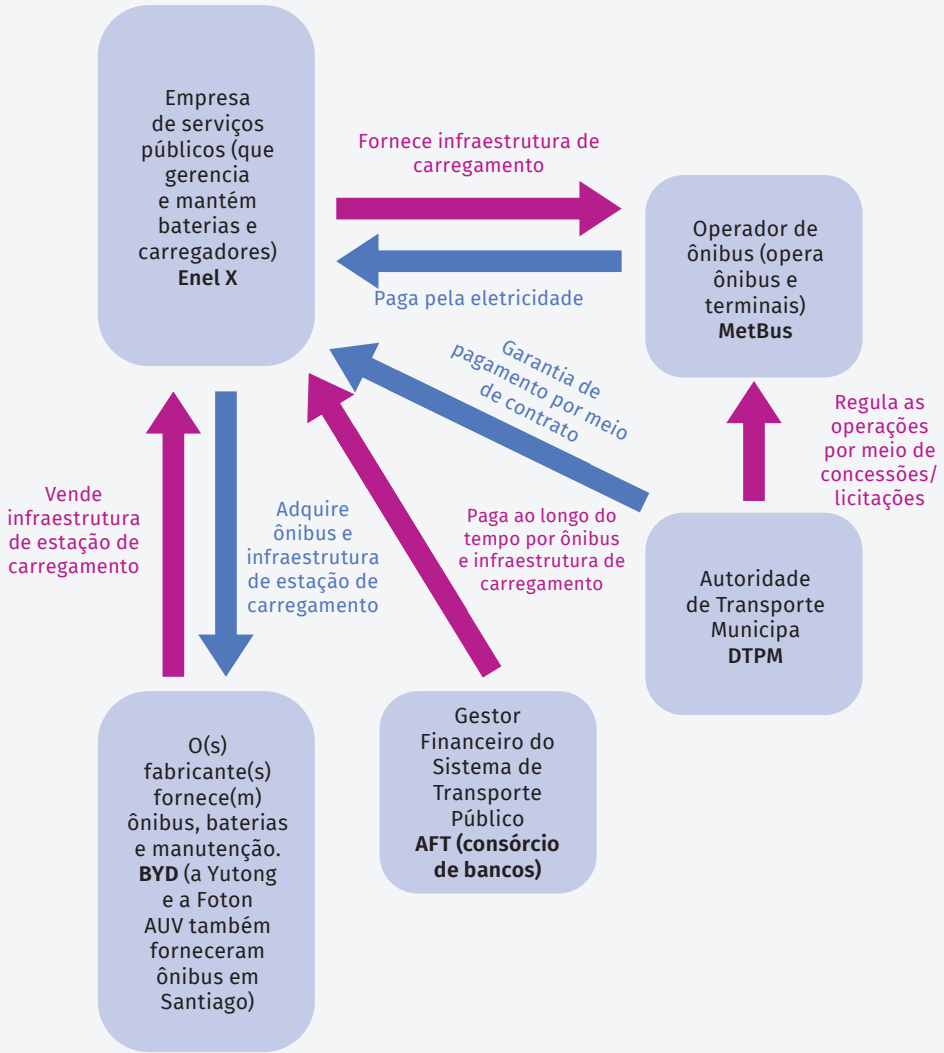
LEASING OPERACIONAL.

Neste regime, um terceiro compra os ativos acordados (por exemplo, ônibus) e aluga tais ativos e/ou infraestrutura necessários para as operações. Um acordo com a concessionária de serviços públicos pode ser um tipo de *leasing* operacional. Cidades como Santiago, no Chile, e Portland, no estado de Oregon nos EUA, usaram esse mecanismo com concessionárias de serviços públicos que atuam como proprietários dos ativos ou da infraestrutura[227]. Em Santiago, duas concessionárias de serviços públicos distintas são proprietárias dos ônibus e os alugam para os operadores de transporte[228]. Algumas variações desse mecanismo estão se tornando cada vez mais populares. Ao separar os custos iniciais entre as várias partes interessadas, o mecanismo pode aliviar os desafios ligados ao alto custo de capital para o operador e fornecer benefícios diversos às partes interessadas. Para o fabricante, aumenta as vendas; para o operador, acelera a eletrificação sem enormes responsabilidades financeiras; para o proprietário dos ônibus/baterias (como uma concessionária de serviços públicos), gera receita adicional e cria um balanço patrimonial mais forte; e para o provedor de capital, expande sua presença no mercado de VEs ao mesmo tempo que gera um retorno estável do locador[229].

PROPRIEDADE: Terceiro (por exemplo, concessionária de serviços públicos).

CIDADES EM QUE É ADOTADO: Santiago, Chile; Portland, Oregon[230].

PROPRIEDADE E INVESTIMENTO DE CONCESSIONÁRIAS (EXEMPLO DE SANTIAGO, CHILE)



FONTE:
Gomez Jattin (GIZ), 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.

227 Liu. 2019. The U.S. Electric Bus Transition: An Analysis of Funding and Financing Mechanisms.
228 Orbea (TheCityFix). 2018. How Santiago de Chile Became a Global Leader on Electric Buses.
229 Global Innovation Lab for Climate Finance. 2018. Pay as You Save for Clean Transport.
230 Liu. 2019. The U.S. Electric Bus Transition: An Analysis of Funding and Financing Mechanisms.

LEASING EM AÇÃO: *PAY-AS-YOU-SAVE*

Semelhante a um contrato de *leasing* operacional, o programa PAYS (*pay-as-you-save*, uma modalidade que vincula o pagamento à economia) inclui uma concessionária (terceiro) que adquire os ativos acordados (baterias, infraestrutura de carregamento, ônibus ou outros) e aluga tais ativos e/ou infraestrutura para as operações. A concessionária pode absorver o investimento financeiro ou alugar baterias e ônibus para o órgão de transporte público. Os investidores de capital podem oferecer o financiamento da dívida à concessionária, se necessário[231]. A concessionária é reembolsada ao longo do tempo por suas compras iniciais de baterias ou outra infraestrutura, e o operador pode trabalhar para adquirir os ônibus e baterias até o final do período de arrendamento[232]. O programa PAYS é semelhante a um ***leasing operacional***, se a concessionária possuir os ativos; ou a um ***leasing financeiro***, se os operadores se tornarem proprietários dos ativos após determinado tempo.

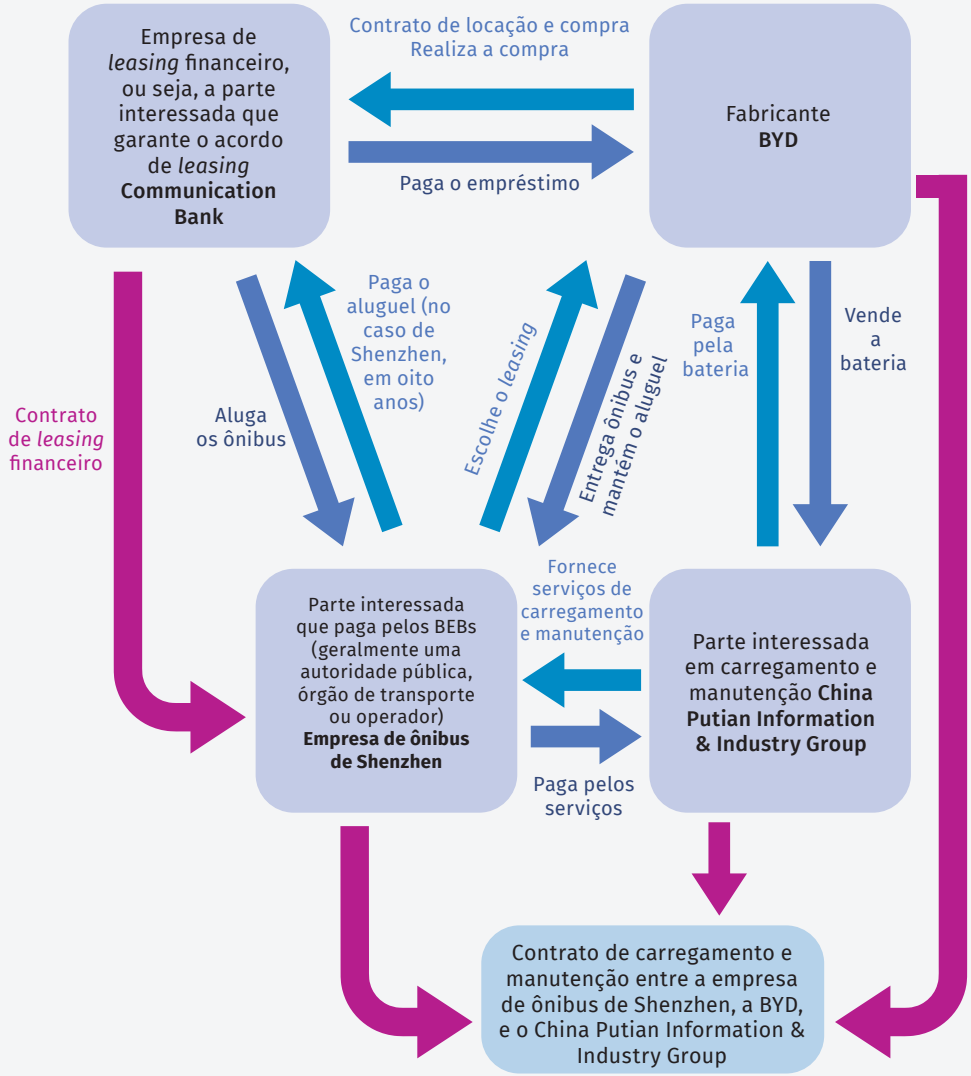
LEASING FINANCEIRO.
Há vários mecanismos de *leasing* financeiro, tais como o *leasing* direto, o *leasing* pós-venda e o *leasing* em confiança. O mecanismo é semelhante a um empréstimo e geralmente envolve várias partes interessadas. Difere do *leasing* de componentes (ônibus/baterias) e do *leasing* operacional, já que outra parte interessada com capital para a compra passa a alugar os ativos aos operadores. Geralmente, a empresa de *leasing* financeiro adquire os ônibus com ou sem baterias e aluga a frota para o operador de ônibus, que paga o aluguel por um período determinado[233]. O contrato deve estipular que os ônibus sejam alugados com bateria por determinado período de tempo (por exemplo, 15 anos); e que o locador deva providenciar uma troca das baterias após determinado período de tempo (sete ou oito anos) ou quando as baterias ultrapassarem certo percentual de sua capacidade inicial. O operador de ônibus paga o custo inicial e os juros dos ônibus, e a empresa de *leasing* financeiro tem receita garantida ao longo do tempo. O exemplo mais notável de um acordo de *leasing* financeiro é o de Shenzhen, na China, onde o governo municipal, a empresa de ônibus, o operador, a empresa de *leasing* financeiro e as empresas de produção de ônibus elétricos assinaram um contrato de compra e venda de BEBs. Nesse caso, a empresa de *leasing* financeiro adquiriu apenas os ônibus (não as baterias) e alugou a frota ao operador dos serviços, que passou a pagar um aluguel por prazo determinado (no caso, oito anos)[234]. As baterias foram vendidas pela BYD ao China Putian Information & Industry Group, que recebeu pagamento pelos serviços da empresa de ônibus de Shenzhen. Nesse cenário, o operador de ônibus tem a garantia de uma obrigação financeira lenta e longitudinal, pagando tanto o valor inicial quanto os juros dos ônibus, e a empresa de *leasing* financeiro tem rendimento garantido ao longo do tempo[235]. Variações do mecanismo também foram usadas em Nova Iorque e em Varsóvia.

PROPRIEDADE: O credor financeiro é proprietário dos ônibus e baterias, e a autoridade pública ou o órgão de transporte assina um contrato de leasing[236]. O operador pode assinar um acordo de manutenção de ativos com o(s) credor(es). Alternativamente, o órgão público pode preferir assinar o contrato diretamente com o credor. Nesse caso, a rescisão do contrato de operação não envolve os veículos. Também abre a possibilidade de firmar contratos de operação mais curtos para criar incentivos para que prestem um serviço melhor. Nesse caso, o órgão de transporte pode adquirir os ônibus ao final do período do *leasing*.

CIDADES EM QUE É ADOTADO: Shenzhen, China; Nova Iorque, EUA; Varsóvia, Polônia.

231 Global Innovation Lab for Climate Finance. 2018. Pay as You Save for Clean Transport.
232 Clean Energy Works, n.d. Tariffed On-Bill Finance to Accelerate Clean Transport.
233 Zhang. 2019. Analysis of "Shenzhen Model" for New Energy Vehicle Promotion in Public Transportation.
234 Zhang. 2019. Analysis of "Shenzhen Model" for New Energy Vehicle Promotion in Public Transportation.
235 Zhang. 2019. Analysis of "Shenzhen Model" for New Energy Vehicle Promotion in Public Transportation.
236 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.

LEASING DIRETO (EXEMPLO DE SHENZHEN, CHINA)



ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS: DESCONTOS DE COMPRAS CONJUNTAS

Neste modelo, grupos de operadores (como órgãos de transporte público de diferentes cidades) agregam suas compras de BEBs para adquirir frotas maiores, que são então divididas entre as várias partes. Isso pode ser facilitado por meio de acordos conjuntos ou por meio de contratos maiores de aquisições em nível estadual ou regional, que prevejam a aquisição para determinado estado ou região[237]. As cidades de San Francisco e Seattle usaram tal modelo para realizar uma compra conjunta de BEBs da empresa canadense New Flyer[238].

237 Liu. 2019. The U.S. Electric Bus Transition: An Analysis of Funding and Financing Mechanisms.
238 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.

DESTAQUE SOBRE INCENTIVOS FINANCEIROS PARA CUSTOS DE CAPITAL

Os mecanismos de financiamento acima podem ser combinados com incentivos financeiros, o que pode reduzir o capital inicial e as despesas operacionais. Embora as instabilidades e riscos financeiros representem barreiras significativas à adoção, há cada vez mais incentivos disponíveis para investimentos (fornecidos pelos governos para mitigar os riscos). Em geral, eles se concentram em órgãos públicos que incentivam práticas ambientalmente benéficas para os setores público e privado, ou apoiam o crescimento da indústria local. Há muitos tipos de incentivos de investimento financeiro, tais como:

- Concessões de terrenos (nos níveis local, estadual e nacional);
- Incentivos fiscais (em nível nacional);
- Reduções nos impostos sobre valor agregado (em nível local e/ou nacional);[239]
- Redução dos impostos sobre o lucro das empresas (em nível nacional).[240]

Embarque de ônibus elétrico Solaris em Varsóvia, Polônia.
FONTE: Janusz Jakubowski, Flickr.

6.3 DESPESAS OPERACIONAIS

As despesas de operações e manutenção de ônibus elétricos apresentam semelhanças com as de ônibus ICE, tais como custos administrativos (inclusive impostos e seguros), despesas de pessoal, manutenção do sistema e custos de reposição. No entanto, algumas diferenças nas despesas operacionais são os custos de combustível (ou seja, energia para o carregamento *versus* abastecimento com diesel), serviços maiores de manutenção (ou seja, substituição de baterias *versus* revisão do motor), frequência de manutenções e custos de fim de vida. ***As despesas operacionais e de manutenção dos BEBs podem gerar reduções de custo significativas em comparação com os ônibus a diesel.*** Um estudo do programa ZEBRA em Santiago identificou uma redução de 70% nos custos de operação e manutenção[241]. Da mesma forma, um estudo europeu de 2018 constatou que as despesas operacionais e os custos de manutenção anuais de um ônibus elétrico equivaliam a um terço dos de um ônibus a diesel, ou seja, € 12.600 (aproximadamente US$ 15.100) e € 36.300 (aproximadamente US$ 43.600), respectivamente[242]. Em Chicago, estima-se que dois projetos-piloto de ônibus elétricos economizem anualmente US$ 24 mil em custos de combustível e US$ 30 mil em manutenção[243].

239 Gomez Jattin (GIZ). 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.
240 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-electric Buses.
241 ZEBRA, n.d. From Pilots to Scale: Lessons from Electric Bus Deployments in Santiago de Chile.
242 Potkany et al. 2018. Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diesel Buses.
243 Tigue. 2019. U.S. Electric Bus Demand Outpaces Production as Cities Add to Their Fleets.

Os BEBs podem ter despesas operacionais mais baixas devido aos custos mais baixos de energia (combustível) por quilômetro e aos custos reduzidos de manutenção, mas isso depende de vários fatores, tais como:

- Localidade (que altera o custo da energia elétrica, bem como o desempenho das baterias, dependendo da temperatura, das necessidades de aquecimento e arrefecimento e da topografia);
- Desempenho dos ativos físicos (ônibus, baterias) e da infraestrutura de carregamento, além do desempenho dos motoristas e das condições do serviço (ou seja, congestionamentos, e alta demanda, entre outros);
- Custos de financiamento da dívida;
- Demanda de energia (evitar o carregamento em horários de pico pode render enormes benefícios financeiros ao longo do tempo)[244] ;
- Políticas locais (podem prejudicar ou viabilizar um sistema quando se trata de otimizar custos contínuos); e
- Incentivos financeiros fiscais disponíveis para o sistema.

Pessoas caminhando, pedalando e embarcando em um ônibus em uma rua completa de Seattle, no estado de Washington, EUA.
FONTE: Green Lane Project, Flickr.

Algumas despesas operacionais e de manutenção são:

CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA.

Na maior parte dos casos, os custos médios de energia elétrica por quilômetro são mais baixos que os custos de diesel por quilômetro. Isso depende muito da demanda de energia de cada área urbana e dos custos da eletricidade, bem como do tipo de carregamento. Os custos de energia elétrica variam conforme o país e a região, mas provavelmente são estruturados da seguinte forma: encargo(s) fixo(s), que funcionam como uma tarifa fixa ao longo do tempo; cobranças pelo uso, que variam conforme a quantidade de energia usada; ou tarifas de demanda, que variam de acordo com o momento do carregamento (durante os horários de pico ou fora deles)[245]. Os sistemas de carregamento por pantógrafo ou sem fio podem ter custos maiores devido à maior capacidade necessária da rede e à necessidade de carregar durante os horários de pico. As taxas de consumo de eletricidade podem variar de acordo com: taxas sazonais, taxas de tempo de uso ou taxas diferenciadas (ou seja, nível de uso.[246]

CUSTOS DE MANUTENÇÃO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA.

Embora os custos de manutenção sejam provavelmente mais baixos, dado que menos manutenção é necessária para a propulsão elétrica, o operador deve planejar um período de ajuste — especialmente em termos de capacitação do pessoal para manter um sistema de propulsão elétrica em vez de um sistema de combustão interna, que é mais mecânico. Como os ônibus elétricos não exigem o mesmo tipo de manutenção que os ônibus a diesel porque não há manutenção do motor e há menos desgaste nos sistemas de freio, é provável que os custos de manutenção sejam menores que os dos veículos ICE[247]. Os ônibus elétricos fazem um uso menos intensivo dos freios devido à frenagem regenerativa, um sistema em que a energia produzida na frenagem volta para o sistema de carregamento[248].

244 Um estudo da Mobility House na Alemanha estimou que evitar os horários de pico para carregar uma frota de 15 BEBs resultaria em uma economia de US$ 1,3 milhão a US$ 1,6 milhão (€ 1,2 milhão a € 1,4 milhão) ao longo de 10 anos. The Mobility House, n.d. Smart Charging for Your Electric Buses.
245 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug-in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
246 Johnson et al. 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
247 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
248 The University of Tennessee at Chattanooga, n.d. FAQs: Electric and Hybrid Buses.

CUSTOS DE SUBSTITUIÇÃO DE COMPONENTES E/OU REVISÃO DE ÔNIBUS.
De todas as despesas correntes, os custos de substituição de componentes são os mais imprevisíveis. Além disso, é muito difícil determinar se esses custos seriam maiores ou menores que os dos veículos ICE tradicionais. Por esse motivo, Hanlin et al. (2018) recomendam comparar os custos com base nas expectativas de revisão de meia vida, uma vez que os principais componentes, como os motores e baterias, são criados com a previsão de substituição durante a vida útil do veículo[249]. Para os ônibus a diesel tradicionais, os itens mais caros associados à manutenção e conservação são os pneus, o óleo e a revisão geral do motor. Para os BEBs, a substituição da bateria representa a maior despesa de manutenção, além dos pneus e outros itens tecnológicos. A vida útil da bateria também é incerta, com garantias geralmente variando de 6 a 12 anos. A substituição da bateria dos BEBs pode ser comparada à revisão do motor dos outros tipos de ônibus movidos a combustível[250]. Embora certos componentes (baterias) sejam mais caros que os componentes de veículos ICE, há menos componentes no sistema de BEBs e, portanto, menos itens a serem substituído.[251]

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA.
Independentemente do tipo de infraestrutura de carregamento (como garagens adaptadas com carregamento noturno ou o carregamento de oportunidade e indutivo ao longo da rota), essa estruturas exigem uma manutenção mais cara que as estações de reabastecimento de diesel.

6.4
CUSTEIO DAS DESPESAS OPERACIONAIS

Como as despesas operacionais dos ônibus elétricos são geralmente mais baixas que as dos ônibus ICE, os operadores ou órgãos públicos podem cobrir tais despesas com seus orçamentos atuais. No entanto, como acontece com os custos de capital, pode ser mais sustentável financeiramente para as cidades considerar mecanismos inovadores de custeio das despesas operacionais. Os altos custos iniciais dos BEBs (que levam a taxas mais altas de financiamento da dívida), a redução dos orçamentos em razão da Covid-19 ou preocupações com a sustentabilidade financeira da adoção de ônibus elétricos podem obrigar as cidades a recorrer a mecanismos inovadores de custeio, no âmbito dos quais as despesas operacionais sejam pagas com outros fontes de receita (além das tarifas) ou por outras partes interessadas. Em muitos sistemas, as receitas de tarifas são usadas para pagar as despesas operacionais. No entanto, a pandemia de Covid-19 demonstrou que esses recursos não são tão resilientes ou suficientes quanto as cidades podem precisar para continuar a fornecer os serviços[252]. A pandemia também destacou a importância do transporte público para a resiliência do funcionamento das cidades. Novas abordagens para custear os serviços de transporte público são necessárias para garantir que esses serviços essenciais continuem a ser fornecidos. Isso requer mais investimentos do setor público em operações e a análise de outros fluxos de receita, como, por exemplo publicidade e precificação de congestionamentos. Em algumas situações, os custos de propriedade e operações são divididos entre as partes interessadas para que o operador e/ou órgão público que administra o sistema de ônibus não enfrente riscos financeiros relativos à propriedade ou às operações[253]. As cidades precisarão avaliar as opções de propriedade, financiamento e custeio para encontrar a melhor solução para seu contexto.

O financiamento inovador das despesas operacionais pode incluir uma parte interessada responsável pelo pagamento do carregamento, da operação de veículos e/ou da manutenção dos ônibus e infraestrutura. Pode ser uma concessionária de serviços públicos, como o China Putian Information and Industry Group, em Shenzhen, ou a Enel X, em Santiago. Alternativamente, pode ser interessante considerar os seguintes atores como partes interessadas no financiamento: bancos de desenvolvimento nacionais ou multilaterais, bancos de importação e exportação, bancos comerciais, fabricantes, mecanismos de financiamento climático ou governos (por meio de subsídios ou incentivos)[254].

255 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
256 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities.
257 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
258 Graham and Courreges (IFC & C40). 2020. Leading a Clean Urban Recovery with Electric Buses: Innovative Business Models Show Promise in Latin America.
259 Graham and Courreges (IFC & C40). 2020. Leading a Clean Urban Recovery with Electric Buses: Innovative Business Models Show Promise in Latin America.
260 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities.
261 Seen in Vancouver, Canada. C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions y Procuring Only Electric Buses.
262 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.

Os governos e as concessionárias de serviços públicos podem oferecer incentivos financeiros ou opções preferenciais que reduzam as despesas operacionais, tais como:

- Subsídios para despesas operacionais (em nível de governo estadual ou nacional); e
- Tarifa preferencial de eletricidade (da concessionária)[255].

Os operadores e os entes de planejamento devem explorar esses possíveis incentivos, como preços preferenciais para tarifas fora do horário de pico ou tarifas de demanda limitada de empresas de serviços públicos[256]. Os incentivos únicos podem obrigar os municípios a se comprometerem com operações e manutenção que eles não consigam custear sem incentivos contínuos (embora os BEBs frequentemente tenham custos operacionais anuais significativamente mais baixos que os ônibus a diesel tradicionais). Portanto, a sustentabilidade financeira de longo prazo desta opção deve ser considerada pelos operadores.

Incentivos financeiros na forma de subsídios foram essenciais para a incrível expansão das frotas de ônibus elétricos nas cidades chinesas. Na imagem, veem-se ônibus em um posto de controle em Shenzhen. A frota da cidade já tem mais de 16 mil ônibus elétricos.
FONTE:
Can Pac Swire, Flickr.

6.5
MODELO FINANCEIRO

Ao planejar o financiamento de aquisições e operações, é fundamental enfatizar que a ***acessibilidade e eficiência da transição para ônibus elétricos exigem que se busque uma taxa de substituição próxima a 1:1 entre ônibus elétricos e ônibus a diesel/GNC***[257]. Atualmente, os prestadores de serviços de ônibus podem precisar de 20% a 100% mais ônibus elétricos que ônibus a diesel/GNC para manter o mesmo nível de serviço. Isso se deve a restrições operacionais ligadas ao carregamento, que precisam ser superadas[258]. A acessibilidade econômica das cidades pode exigir criatividade, novas partes interessadas e mecanismos inovadores de financiamento, como *leasing* de componentes, *leasing* operacional e *leasing* financeiro[259].

O modelo financeiro para BEBs deve abordar as diferenças no TCO dos veículos elétricos (custos iniciais mais altos e despesas operacionais mais baixas) *versus* ônibus a diesel (custos iniciais mais baixos e despesas operacionais mais altas). Sempre que possível, os órgãos de planejamento devem alavancar os recursos e os incentivos disponíveis para arcar com os custos de capital (aquisições, infraestrutura e concessões de terrenos; redução de impostos) e as despesas operacionais (subsídios operacionais, preços preferenciais). As cidades precisarão obter subsídios significativos para os custos de capital ou, de outra forma, adotar um mecanismo de financiamento que permita o pagamento ao longo do tempo, o pagamento assistido por terceiros (como bancos de desenvolvimento, concessionárias de serviços públicos, financiadores ambientais ou fabricantes) e/ou a propriedade de terceiros dos componentes do sistema (como ônibus, baterias ou infraestrutura).

Para as despesas operacionais, as cidades podem ter recursos suficientes para cobrir esses custos reduzidos. Caso não os tenham, a assistência de outras partes interessadas para os pagamentos ou subsídios e/ou a propriedade de terceiros são alternativas comuns. Os fluxos de recursos e as partes interessadas no financiamento podem diferir entre os custos de capital e as despesas operacionais.

Os BEBs exigem que repensemos o modelo financeiro para os custos de capital e as despesas operacionais, e precisamos entender as mudanças no plano operacional. A seção a seguir apresenta uma visão geral do planejamento da manutenção e das operações de ônibus elétricos.

257 Miles and Potter. 2014. Developing a Viable Electric Bus Service: the Milton Keynes Demonstration Project.
258 Lowell (MJB & A). 2019. Electric Bus 101: Economics, Politics, Myths & Facts.
259 Graham and Courreges (IFC & C40). 2020. Leading a Clean Urban Recovery with Electric Buses: Innovative Business Models Show Promise in Latin America.

纯电动客车
P
369
预约出行
e巴士
东部公交

PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS E OPERAÇÕES

PÁGINA AO LADO
Ônibus elétrico passa por pedestres e bicicletas estacionadas em Shenzhen, China..
FONTE: Wiaauquaiu, CC BY-SA, Wikimedia Commons.

7

O planejamento de operações e manutenção precisará mudar com a adoção e transição de ônibus a diesel ou GNC para BEBs. Haverá mudanças no planejamento das rotas, na infraestrutura, nos horários de reabastecimento/carregamento e nas práticas de manutenção. As autonomias mais baixas dos BEBs terão ramificações na programação dos serviços, tanto em termos de quantos ônibus serão necessários para realizar os serviços quanto em relação ao reabastecimento. Devido a isso, os BEBs não podem simplesmente substituir os serviços atualmente prestados por ônibus a diesel em uma taxa de 1:1, e haverá a uma taxa de substituição mais alta ou custos mais elevados com infraestrutura de carregamento. Para analisar e selecionar modelos viáveis de carregamento, baterias e financiamento, o planejamento dos serviços deve ser feito primeiro — esses dados formarão a base para o modelo financeiro e, portanto, pode ser necessário revisá-los. O planejamento dos serviços de BEBs permite que os operadores entendam melhor:

- Que tipo de **infraestrutura de carregamento** se adapta às necessidades e considerações do sistema e dos serviços de ônibus;
- Quanta **potência** é necessária em cada garagem de ônibus;
- Onde e quando **recarregar cada ônibus elétrico** durante as operações diárias;
- Quais tipos e quantas **baterias** serão necessárias;
- Quantos ônibus serão necessários para fornecer o novo serviço; e
- Como isso se relaciona com **a demanda e o número de passageiros**, e como os ônibus elétricos devem ser alocados para diferentes configurações de rotas em conformidade com isso.

Dadas as diferenças em como os ônibus elétricos e a diesel ou GNC operam, os BEBs também oferecem uma oportunidade para rever o projeto da rede e o planejamento das rotas[260]. Muitas vezes, os serviços de planejamento e os cronogramas decorrem de decisões tomadas décadas atrás. Os BEBs podem viabilizar mudanças maiores no sistema que os órgãos de transporte público já queriam implementar, mas não tinham vontade política ou capacidade para fazê-lo. Se forem necessárias algumas mudanças na concepção dos serviços, isso pode abrir oportunidades para outras alterações, tais como faixas exclusivas para ônibus, BRTs, cobrança de tarifas fora dos veículos [*off-board*], embarque em nível ou sistemas de pagamento de tarifas mais equitativos.

O sucesso operacional estará diretamente relacionado à autonomia, estabilidade e manutenção da bateria. Uma infinidade de fatores pode reduzir a autonomia, tais como paradas frequentes, temperaturas extremas (tanto quentes quanto frias), topografia desafiadora (ladeiras, morros e vales, entre outros), número de passageiros, condicionamento interno (aquecimento, resfriamento) e tráfego pesado (conforme descreve a seção 2, *Ônibus elétricos a bateria*). Esta seção apresenta uma visão geral do planejamento de rotas, *hardware*, *software*, operações e manutenção, descrevendo uma série de boas práticas.

260 Hall et al. 2019. Adjustments to Public Transit Operations Planning Process for the Use of Electric Buses.

DESTAQUE SOBRE O ITDP CHINA: BOAS PRÁTICAS DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO

Nos últimos anos, o ITDP China tem trabalhado com outras ONGs no desenvolvimento de políticas e estratégias para eletrificar totalmente as frotas de ônibus em todo o país. Esses estudos foram utilizados pelo Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação para embasar suas políticas públicas. Alguns dos aprendizados resultantes dessa experiência na China são:

REUNIR-SE COM A CONCESSIONÁRIA NO INÍCIO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO

As partes interessadas responsáveis pelo planejamento, financiamento e gerenciamento, tais como operadores e/ou governo, precisam se reunir com a concessionária durante o estágio de planejamento para considerar a capacidade da rede local e os preços da energia elétrica. Isso altera e define os planos para outras especificações de ônibus elétricos, como, por exemplo, informações sobre a rota do ônibus, tempo de carregamento, localização e consumo diário de eletricidade.

ESTABELECER UM PLANO DE OPERAÇÕES E CARREGAMENTO ANTES DA AQUISIÇÃO

As cidades precisam ter planos operacionais e de carregamento concretos antes da aquisição dos ônibus elétricos para garantir que as configurações dos ônibus se adequem ao número de passageiros, à distância diária de condução e ao tempo operacional das rotas de ônibus designadas. A experiência das cidades chinesas demonstra que não adotar este ou outros padrões operacionais pode levar a taxas de substituição insatisfatórias. Também é importante ter um plano sobre o que fazer com os ônibus a diesel que estão sendo substituídos, de forma a maximizar os benefícios ambientais gerais.

USAR DADOS OPERACIONAIS DO MUNDO REAL

Os operadores devem usar dados operacionais de projetos-piloto e cidades comparáveis para nortear o planejamento da aquisição de ônibus elétricos, otimizar planos operacionais e estabelecer um plano de carregamento. Além disso, a coleta regular de dados é importante para avaliar e melhorar as operações e serviços.[261]

OTIMIZAR A EFICIÊNCIA OPERACIONAL COM DADOS

Embora tenha havido uma adoção generalizada de ônibus elétricos na China, a falta de orientações sobre como implantá-los de forma eficaz nas rotas frequentemente leva a taxas de substituição insatisfatórias, o que resulta em operações menos frequentes e mais caras. Em resposta a isso, o ITDP China conduziu um estudo sobre a elaboração de horários e roteiros para 75 das principais cidades chinesas visando à eliminação dos ônibus ICE. As 75 cidades foram divididas em quatro níveis, e projeta-se que todos atinjam a plena operação de ônibus elétricos até 2028. O ITDP identificou as mais importantes métricas de dados operacionais de ônibus elétricos e construiu uma matriz para avaliar as operações dos BEBs e melhorar sua eficiência. Isso pode ser feito, por exemplo, por meio da avaliação da capacidade da frota de ônibus calculando a capacidade de passageiros e a taxa de substituição, ou pela avaliação do nível de serviço ao calcular as horas operacionais médias e a taxa de falhas. Essas métricas e seus cálculos associados estão listados no Apêndice.

261 Comunicação pessoal, ITDP China. Fevereiro de 2021.

Ônibus elétrico em circulação em Shanghai, China.
FONTE: ruich_whx, Flickr.

OPERAÇÕES DE TRANSIÇÃO DE PROJETO-PILOTO PARA FROTA: PREVISÃO DA DIVERSIDADE DA FROTA

As cidades devem usar os projetos-piloto como uma oportunidade para aprender sobre eletrificação e capacitar seu pessoal. Desde o início, os projetos-piloto devem ser informativos e ampliáveis, inclusive no que diz respeito à transição das operações e da manutenção para o novo *hardware* e *software*[262]. Como a transição ocorrerá ao longo de muitos anos, os operadores e o pessoal de manutenção devem planejar atender a uma composição diversificada da frota durante a transição[263]. Isso pode incluir diferentes práticas dentro e fora da rota, inclusive novos programas de estacionamento para acomodar a infraestrutura de carregamento e manter os ônibus fora de serviço (aguardando descarte) ou aqueles que aguardam o momento da recarga.[264]

Cidades como Washington D.C., EUA, não apenas dispõem de uma frota mista (ônibus elétricos, híbridos e a diesel em serviço na região metropolitana), mas também oferecem a interseção de vários sistemas. A imagem mostra ônibus do WMATA, o operador local, e do Ride-on, o operador do Condado de Montgomery, em Maryland.
FONTE: BeyondDC, Flickr.

262 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
263 Hall et al. 2019. Adjustments of Public Transit Operations Planning Process for the Use of Electric Buses.
264 ChargePoint. 2020. What It Takes to Manage an EV Fleet.

Estação de carregamento de ônibus elétricos em Gotemburgo, Suécia.
FONTE: Andrzej Otrębski, CC BY-SA 4.0, Wikimedia commons.

7.1 PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO

Implantar uma infraestrutura de carregamento de forma inteligente é fundamental para o sucesso do sistema. Isso afetará as operações, determinando quanto tempo os ônibus ficarão parados e a duração das rotas antes que o serviço tenha de ser interrompido para a recarga — considerando tanto a recarga rápida ao longo das rotas quanto o retorno à garagem[265]. O tipo de carregamento, o horário e as operações também afetarão quantos ônibus precisarão ser adquiridos e o modelo financeiro. Além disso, a aquisição e implementação de infraestrutura de carregamento será um aspecto demorado da transição elétrica, uma vez que envolverá várias partes interessadas (governos municipais, operadores de transporte público, empresas de serviços públicos) e muitas vezes requer ampliações da rede elétrica, mudanças no uso do solo e reforma ou construção de garagens.

As partes interessadas no planejamento devem considerar vários estágios da eletrificação ao planejar e modelar o sistema para garantir a compatibilidade de longo prazo[266]. A infraestrutura deve ser planejada e instalada antes da implantação e operação dos ônibus. A instalação da infraestrutura de carregamento de BEBs será um processo prolongado e deve ser planejada pelo menos 18 meses antes do início de sua utilização[267] [268]. Anteriormente à infraestrutura de carregamento, a instalação de ampliações da rede elétrica pode levar até dois anos[269]. Dados os longos prazos, a instalação da infraestrutura de carregamento pode ser altamente desafiadora do ponto de vista administrativo[270]. No projeto-piloto do sistema ZeEUS em Londres, o desafio mais difícil em todo o processo foi instalar a infraestrutura de carregamento[271]. Em Washington, D.C., nos EUA, os BEBs do projeto-piloto chegaram antes que a garagem tivesse sido totalmente reformada com nova infraestrutura de carregamento, o que exigiu que a cidade comprasse geradores para manter as baterias suficientemente carregadas enquanto se concluíam as reformas. Como todos os outros aspectos ligados ao carregamento, o processo de instalação varia de acordo com o tipo de infraestrutura. Alguns atributos específicos são necessários para diferentes infraestruturas:

265 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
266 Lin et al. 2019. Multistage Large-Scale Charging Station Planning for Electric Buses Considering Transportation Network and Power Grid.
267 UITP, n.d. ZeEUS Warsaw (PL).
268 UITP, n.d. ZeEUS Warsaw (PL).
269 California HVIP, n.d. Infrastructure.
270 UITP, n.d. ZeEUS Pilsen (CZ).
271 UITP, n.d. ZeEUS London (UK).

NA ROTA.
As estruturas de carregamento ao longo da rota — por pantógrafo ou indução — devem estar bem localizadas em relação às vias e à infraestrutura da rede elétrica. Geralmente, estarão em terminais rodoviários, pontos finais de rotas de ônibus, estações ou paradas onde várias linhas se cruzem. Uma questão-chave para decidir onde deve ser feita a instalação é se há terrenos adequados disponíveis para a infraestrutura de carregamento. Geralmente, a recarga leva de 5 a 20 minutos; portanto, os ônibus precisarão parar em uma área separada para recarregar as baterias, como, por exemplo, um baia de carregamento em uma estação ou uma área fechada fora da rota[272]. Os passageiros podem permanecer a bordo durante o carregamento.

GARAGENS.
Independentemente do tipo de carregamento, as garagens de ônibus precisarão ser adaptadas ou construídas para a infraestrutura de BEBs. As garagens de ônibus devem acomodar e fornecer acesso conveniente à infraestrutura de carregamento, o que provavelmente exigirá de 15% a 30% mais espaço que uma garagem comum[273]. O espaço necessário depende do tipo de carregamento (*plug-in* noturno, ou carregamento de oportunidade, por exemplo). Se os operadores não puderem construir novas garagens ou ampliar as atuais, uma opção seria construir uma cobertura sobre as garagens existentes[274]. Nesse cenário, a cobertura fornece uma área adicional onde instalar o equipamento de carregamento, o que pode reduzir os custos, uma vez que a fiação é instalada no teto e não no subsolo[275]. Como as baterias podem se degradar mais rapidamente em altas temperaturas ou apresentar desempenho pior em temperaturas mais frias (e os ônibus usarão mais energia para aquecimento ou resfriamento), os planejadores devem garantir que a recarga da bateria ocorra em um local adequadamente coberto e ventilado e que haja instalações suficientes para aquecimento ou resfriamento do *hardware* elétrico, levando em consideração a sensibilidade ao clima local e às flutuações sazonais.

HARDWARE E _SOFTWARE_ DE CARREGAMENTO INTELIGENTE
Hardware e *software* específicos para BEBs desempenham um papel particularmente importante no carregamento elétrico, pois o carregamento não é tão simples quanto abastecer ou conectar um carregador. O *hardware* de carregamento inteligente gerenciado com *software* específico torna-se essencial para entender o estado de carga (SOC) da frota, a demanda de energia e a programação de carregamento para minimizar os custos operacionais[276]. Para maior eficiência e facilidade de uso, o *software* de carregamento de BEBs deve ser integrado a outros *softwares*, como, por exemplo, de roteamento e despacho, bem como serviços externos, como o gerenciamento de tráfego[277].

Estações da rede ChargePoint em Santa Clara, no estado da Califórnia, EUA.
FONTE: Santa Clara Valley Transportation Authority, Wikimedia Commons.

272 Rogge et al. 2015. Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—a Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements.
273 UITP. 2019. The Impact of Electric Buses on Urban Life.
274 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
275 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
276 ChargePoint. 2020. What It Takes to Manage an EV Fleet.
277 ChargePoint. 2020. What It Takes to Manage an EV Fleet.

O planejamento e a modelagem da infraestrutura de rotas dependerão do tipo de carregamento que o órgão de transporte público decidir utilizar e do que é viável, dadas as restrições geográficas[278]. Os três principais tipos de infraestrutura de carregamento (*plug-in* tradicional, carregamento por pantógrafo e carregamento indutivo) requerem diferentes tipos de infraestrutura e área. Ao planejar os custos de capital da infraestrutura de carregamento, os operadores e outras partes interessadas no planejamento devem considerar:

- *Hardware* das estações de carregamento;
- Construção e implementação das estações de carregamento;
- Espaço disponível e conexões de rede, inclusive custos de aquisição de terrenos;
- Custos de mão de obra para a construção e implementação (inclusive os custos de pré-construção e a contratação de pessoal para consultas no local); e
- Custos de licenciamento municipal[279].

BOAS PRÁTICAS PARA O PLANEJAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO: COLABORAÇÃO COM A CONCESSIONÁRIA

Os planejadores devem estabelecer canais de comunicação direta com as concessionárias de energia elétrica para estabelecer parcerias que gerem benefícios para o transporte público e para as concessionárias. A viabilidade (tanto financeira quanto física) de diferentes sistemas de carregamento dependerá da disposição da concessionária em colaborar[280]. Essa colaboração pode incluir a oferta de mecanismos de financiamento ou infraestrutura que diminuam o ônus financeiro para os órgãos de transporte e garantam que o carregamento da frota não cause tensões evitáveis na rede de energia[281]. Desde o início do processo, os planejadores devem conhecer a disponibilidade de energia elétrica nas garagens, e as concessionárias de serviços públicos serão um recurso importante para estimar se o serviço atual é adequado para apoiar o novo programa[282]. As concessionárias terão uma visão crítica sobre:

- Como as tarifas de energia elétrica flutuam localmente e quais mecanismos de financiamento são viáveis para operações no setor;
- Estimativas de preços de energia para o carregamento inicial e TCO de longo prazo;
- Como planejar modernizações do sistema elétrico para permitir a transição completa da frota;
- Quais licenças são necessárias para a ampliação da rede elétrica; e
- Necessidade de serviços e modernizações da infraestrutura para construir ou reformar garagens de ônibus (levando em consideração o tamanho da garagem, bem como o número máximo de ônibus sendo recarregados de cada vez e com qual nível de energia).[283]

Entender isso ajudará os operadores a estimar o TCO, inclusive as despesas operacionais correntes, e, ao mesmo tempo, avaliar a viabilidade dos tipos de carregamento e o tempo de instalação da infraestrutura de carregamento. Se possível, os órgãos de transporte devem colaborar com o governo local e as concessionárias de serviços públicos para desenvolver tarifas de energia elétrica específicas para o transporte, usando mecanismos de financiamento (oferecidos ou acordados) nos modelos de planejamento para melhor se prepararem para as despesas correntes[284]. Trata-se de um processo iterativo: à medida que for desenvolvido o plano de infraestrutura de carregamento, ele precisa ser testado em relação ao plano financeiro e ao plano operacional. É importante compreender as implicações operacionais dos diferentes estilos de carregamento.

BOAS PRÁTICAS PARA O PLANEJAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO: REDUÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA

Ao avaliar as despesas operacionais do carregamento, as partes interessadas no planejamento devem considerar táticas que possam reduzir os custos de carregamento, tais como:

278 Bak et al. 2018. Strategies for Implementing Public Service Electric Bus Lines by Charging Type in Daegu Metropolitan City, South Korea.
279 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
280 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
281 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug-in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
282 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
283 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
284 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.

- Distribuir a infraestrutura de carregamento para reduzir a demanda em determinado local;
- Usar carregamento de baixa potência por períodos mais longos (como o carregamento noturno);
- Escalonar as rotas dos ônibus para escalonar os horários de carregamento;
- Reduzir o carregamento durante os horários de pico (se o preço da eletricidade variar conforme a demanda e o uso)[285]
- Definir um teto para o carregamento na(s) garagem(ens) ou estação(ões) de carregamento; e
- Manter uma carga de *backup* para emergências ou para uso durante os horários de pico de carregamento[286].

Algumas estratégias adicionais de otimização para o armazenamento de energia são: armazenamento descentralizado (energia armazenada fora da rede elétrica principal, em geradores ou redes menores movidas a energia solar); garagens inteligentes (equipadas com sua própria forma de captura e armazenamento de eletricidade, como, por exemplo, painéis solares); e um sistema digitalizado de gerenciamento de energia, que possa instruir os operadores quando cobrar com base na demanda, quais são os preços de energia em tempo real e qual a variação climática.

BOAS PRÁTICAS PARA O PLANEJAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO: MODELAGEM

O planejamento adequado da infraestrutura de carregamento por meio de modelagem, pesquisa e análise de sistema é de grande importância. A infraestrutura de carregamento é imóvel e cara, mas ela afeta como os serviços são implementados e quantos ônibus serão necessários para executá-los. O investimento em carregamento rápido pode reduzir os custos das operações no longo prazo, diminuindo o número de ônibus necessários para fornecer o serviço. O uso da modelagem para reunir todas as informações disponíveis a partir de modelos de origem-destino, dos serviços e rotas existentes, dos locais das garagens atuais e das conexões de rede podem ajudar a identificar as melhores rotas para os projetos-piloto, a melhor localização da infraestrutura (garagens, infraestrutura de carregamento) e como as rotas e a infraestrutura atuais podem ser ajustadas para redimensionar a frota. Além disso, os modelos podem identificar as rotas ideais para a autonomia estimada das baterias se um órgão estiver interessado em alterar as rotas para encontrar o melhor equilíbrio entre acesso dos passageiros e a autonomia das baterias[287]. Isso é importante para tipos de carregamento que requeiram carregamento periódico ao longo do dia. Se as infraestruturas de carregamento estiverem muito distantes ou muito próximas umas das outras, ou se as flutuações sazonais alterarem muito a autonomia dos BEBs, a frota pode não ser capaz de realizar as operações normais durante todo o ano. Nesse caso, os operadores podem precisar adquirir ônibus adicionais, reduzindo a possibilidade de atingir uma taxa de substituição próxima a 1:1 entre ônibus a diesel e BEBs. Para o programa ZeEUS em Münster, na Alemanha, a infraestrutura de carregamento adequada foi fundamental para aumentar a confiabilidade dos ônibus[288]. Mudar o tipo de carregamento de rápido para pantógrafo aumentou a capacidade operacional em Münster e melhorou os serviços.

Em muitas cidades, as restrições de uso da terra, bem como a necessidade de adaptar infraestruturas existentes, impõem desafios significativos para otimizar a localização da infraestrutura e, ao mesmo tempo, garantir a viabilidade financeira e logística. Por exemplo, no projeto-piloto do órgão de transporte público Foothill Transit, no sul da Califórnia, o uso do carregamento suspenso exigia que as estações de carregamento rápido ao longo da rota fossem situadas onde o órgão já tivesse o direito de instalar infraestruturas[289]. É uma dificuldade específica de áreas urbanas complexas com alta densidade e disponibilidade limitada de terrenoas. Na China, a disponibilidade restrita de terrenos é citada por muitas cidades como uma barreira significativa para a adoção do carregamento rápido na rota[290].

285 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
286 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
287 Bak et al. 2018. Strategies for Implementing Public Service Electric Bus Lines by Charging Type in Daegu Metropolitan City, South Korea.
288 UITP, n.d. ZeEUS Munster (DE).
289 National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
290 Comunicação pessoal, ITDP China, maio de 2020.

BOAS PRÁTICAS PARA O PLANEJAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO: GARANTIA DE ESTABILIDADE E SUSTENTABILIDADE

O planejamento da infraestrutura deve considerar a garantia de uma fonte de energia estável e planejar estratégias de resiliência no caso de falha da rede elétrica. A estabilidade da rede elétrica é particularmente importante se todo o sistema necessitar de eletricidade para funcionar. Na ocorrência de crises como desastres naturais, os operadores precisam ter um sistema elétrico de reserva para continuar atendendo ao público. A redundância está no cerne da resiliência dos sistemas de BEBs.

Como estratégia para melhorar a resiliência do sistema e aumentar os benefícios ambientais, os planejadores devem considerar a integração de opções de energia sustentável à infraestrutura do sistema[291]. Algumas táticas que os órgãos de transporte público podem empregar para aumentar a resiliência, reduzindo o risco de quedas de energia, são:

- Ônibus de reserva a diesel, híbridos ou GNC;
- Gerador de reserva (normalmente a diesel ou GNC);
- Integração de opções de energia renovável à rede, como painéis solares ou turbinas eólicas;
- Múltiplas conexões com a rede (no caso de parte da rede ficar inativa, o operador ainda pode recarregar a frota com outras conexões); ou
- Geração e armazenamento local ou descentralizado de energia por bateria (como painéis solares, edificações inteligentes ou microrredes)[292] [293].

Várias cidades vêm adotando edificações com eficiência energética paralelamente aos veículos elétricos. Por exemplo, Nova Iorque e Shanghai incorporaram painéis solares em suas garagens de ônibus elétricos[294] [295]. Ao aumentarem a eficiência energética do sistema por meio da adoção de tecnologia e edificações com eficiência energética — além da transição para energias renováveis por meio da energia solar e eólica — as cidades podem usar menos energia e, assim, aumentar a confiabilidade de suas redes elétricas[296].

291 World Economic Forum. 2018. Electric Vehicles for Smarter Cities: The Future of Energy and Mobility.
292 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
293 APTA. 2020. Resiliency for Battery Electric Buses: Best Practices & Future Studies.
294 Sustania. 2019. Buses Go Truly Zero Emission With Solar Power.
295 Evarts. 2019. New York to Add Solar to Transportation Hubs.
296 APTA. 2020. Resiliency for Battery Electric Buses: Best Practices & Future Studies.

INCENTIVOS À INSTALAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO

Os investimentos em infraestrutura de carregamento são fundamentais, pois a falta de infraestrutura impede o sucesso do sistema de BEBs. Na China, o recente interesse do governo em subsidiar infraestruturas de carregamento tem sido importante para sua expansão. No entanto, as restrições de uso da terra (ou seja, a falta de terrenos disponíveis para a instalação de infraestruturas de carregamento) representam uma barreira nas cidades chinesas, assim como em muitas cidades ao redor do mundo. Em alguns modelos de infraestrutura de carregamento, diferentes atores atuam como catalisadores da expansão da infraestrutura de carregamento. A tabela 7 resume esses diferentes modelos:

MODELO	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Promovido pelo governo (ou seja, público)	O governo é o principal investidor na infraestrutura de carregamento e é responsável por sua construção e operação.	+ É propício para o desenvolvimento bem-organizado e intensivo (desde que a capacidade e a gestão governamental sejam eficientes). + Pode permitir a superação de barreiras iniciais até que os custos sejam menores graças à escala. + Pode aliviar um pouco o estresse no modelo financeiro.	- Dependendo do financiamento do governo, é menos sustentável no longo prazo (se o investimento inicial for público, este modelo pode permitir o dimensionamento ao longo do tempo até que o setor privado possa alcançá-lo e/ou os custos se reduzam).
Promovido por empresas (ou seja, privado)	Empresas privadas (ou seja, fabricantes e outros) são os principais investidores na infraestrutura de carregamento e são responsáveis por sua construção e operação.	+ Há mais financiamento disponível. + As operações e o gerenciamento são de alta qualidade.	- Este modelo não é propício para um desenvolvimento ordenado do mercado. - O custo será repassado ao governo ou aos passageiros por meio de despesas operacionais mais elevadas.
Modelo misto	O setor privado desempenha um papel importante sob a supervisão e com apoio do governo.	+ Proporciona alta eficiência nas operações. + Evita evoluções e/ou operações insustentáveis que estejam em conflito com os interesses do governo para o público.	- É altamente dependente de políticas habilitadoras.

TABELA 7
Comparação de diferentes modelos de adoção e expansão da infraestrutura de carregamento

Nos Estados Unidos, os programas de incentivos têm se concentrado principalmente na redução das despesas iniciais de capital. No entanto, programas de incentivos à infraestrutura como o HVIP da Califórnia subsidiam a instalação de infraestrutura de carregamento em conjunto com subsídios para veículos pesados com emissão zero. O financiamento veio do programa de limites de emissões [cap and trade] do estado da Califórnia, que arrecadou mais de US$ 1 bilhão desde 2013[297]. Apesar de o programa não estar mais em vigor desde 2019, esse tipo de incentivo financeiro para infraestruturas de carregamento deve ser o foco de políticas públicas para permitir a adoção de BEBs.[298]

297 Tigue. 2019. U.S. Electric Bus Demand Outpaces Production as Cities Add to Their Fleets.
298 California HVIP, n.d. Infrastructure.

Um planejamento atento do sistema de carregamento de baterias é importante em rotas de alta capacidade.
FONTE: ITDP China.

7.2
PLANEJAMENTO DE ROTAS

Tradicionalmente, as rotas são definidas com base em alguns fatores: necessidades de deslocamento dos usuários (origem e destino), número de passageiros, expansão urbana e demanda futura[299]. O planejamento das rotas de BEBs também deve se concentrar na otimização da rota — garantindo que todos os ônibus tenham carga suficiente para concluir suas rotas e retornar aos depósitos ou estações de recarga. Com o desempenho mais limitado das bateria de BEBs (particularmente em comparação com ônibus movidos a combustível), os operadores podem precisar ajustar as rotas do sistema com base no desempenho da bateria. ***A eficiência de custos dos BEBs depende de alcançar uma razão próxima a 1:1 para a substituição de ônibus movidos a combustíveis por ônibus elétricos, e isso está diretamente vinculado à otimização das rotas e da programação***[300]. O planejamento adequado das rotas pode ajudar a garantir que o sistema seja otimizado financeiramente para as partes interessadas no planejamento e financiamento, além de confiável para os passageiros.

Assim como acontece com a infraestrutura de carregamento, a modelagem de rotas permite que os operadores otimizem e aprimorem o serviço. Os ônibus elétricos alterarão o planejamento de rotas e operações devido às restrições de infraestrutura e desempenho, como a necessidade de incluir tempo para a recarga das baterias[301]. A infraestrutura de carregamento e o desempenho da bateria são os dois fatores que mais afetarão o planejamento operacional. Ao planejarem as rotas dos BEBs, os operadores devem considerar:

INFRAESTRUTURA E PARÂMETROS DE REDE EXISTENTES.
As rotas devem fazer um uso melhor da infraestrutura de carregamento existente, garantindo que os ônibus possam concluir os serviços e retornar às garagens ou estações de carregamento sem que fiquem sem energia. A avaliação da capacidade da rede local e dos custos estimados para diferentes perfis de carregamento (ao longo das rotas, se aplicável) deve ser feita a partir da experiência das concessionárias de serviços públicos.

AUTONOMIA MÁXIMA, EXTENSÃO DAS ROTAS E CRONOGRAMA DE CARREGAMENTO.
A autonomia máxima dos ônibus elétricos costuma ser de aproximadamente 200 km a 300 km para veículos *plug-in*, embora esteja continuamente melhorando com a evolução da tecnologia. Algumas baterias e condições permitem uma autonomia de até 500 km. Todos os ônibus devem ter carga suficiente para retornar às garagens ou a outra infraestrutura de recarga, o que dependerá de cada cidade[302]. Uma regra geral é não deixar que a bateria fique com menos de 10% a 20% de carga, para evitar seu desgaste e garantir carga suficiente para o retorno à garagem. A autonomia específica dos BEBs limita quantas vezes cada veículo consegue realizar uma rota completa. Sistemas com rotas mais longas, alta quilometragem ou apoio financeiro substancial podem considerar o carregamento ao longo da rota. Se muitos ônibus chegarem à garagem ao mesmo tempo para recarregar, isso pode aumentar a demanda e, portanto, os custos gerais de carregamento do sistema. Ao escalonar os tempos de regresso dos ônibus à(s) garagem(ens), os operadores podem otimizar os custos de energia elétrica reduzindo o número total de ônibus que fazem uma recarga simultânea.[303]

299 Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
300 Lajunen. 2014. Energy Consumption and Cost-Benefit Analysis of Hybrid and Electric City Buses.
301 Hall et al. 2018. Adjustments of Public Transit Operations Planning Process for the Use of Electric Buses.
302 ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.
303 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.

CLIMA E TOPOGRAFIA DAS ROTAS.
Embora muitos projetos-piloto tenham enfrentado desafios relativos ao desempenho da bateria em cidades montanhosas ou com temperaturas extremas, isso varia de local para local. Em Seattle, os projetos-piloto verificaram um esgotamento maior nas rotas com ladeiras muito íngremes[304]. Nas cidades norte-americanas e brasileiras com clima extremamente quente, também foram constatados desafios significativos. Da mesma forma, na América do Norte e na Europa, observou-se um esgotamento significativo da bateria devido ao frio extremo. No entanto, para o programa ZeEUS em Barcelona, os operadores do sistema observaram pouca diferença no consumo de energia entre as rotas acidentadas e as rotas planas; além disso, constataram que a energia consumida nas subidas é quase totalmente recuperada nas descidas (em parte devido à frenagem regenerativa)[305]. A topografia e o clima terão efeitos variados no desempenho dos BEBs; portanto, são necessários projetos-piloto para avaliar os desafios locais.

COMO AJUSTAR ROTAS DE ALTA CAPACIDADE (ESPECIALMENTE DURANTE OS HORÁRIOS DE PICO) À CAPACIDADE DOS ÔNIBUS.
As baterias dos BEBs se descarregam mais rapidamente conforme o peso transportado (ou seja, maior capacidade), especialmente em rotas mais desafiadoras devido à topografia, ao clima ou aos horários de pico. As baterias adicionam peso aos ônibus elétricos e reduzem o limite de capacidade máxima (se compararmos modelos elétricos e ICE semelhantes, levando em consideração as restrições de peso do veículo para as estradas de determinada cidade). Como resultado, os operadores precisam considerar como ajustar a capacidade durante os horários de pico para atender a todos os passageiros em corredores de alta demanda. Uma maneira de fazer isso seria aumentar o número de ônibus.

Algumas boas práticas para o planejamento de rotas são:

PLANEJAR E ENTENDER O DESEMPENHO DA BATERIA POR MEIO DE SIMULAÇÕES DAS ROTAS.
Em Los Angeles, o órgão Foothill Transit estudou como otimizar as rotas de BEBs com base na autonomia, nas características das rotas diárias (ou seja, paradas, velocidade de carregamento) e nas oportunidades de carregamento. Para fazer isso, as cidades devem realizar análises e simulações de suas rotas para determinar como os BEBs podem atender aos requisitos de autonomia e, ao mesmo tempo, otimizar o desempenho da bateria[306]. Essas análises devem considerar como a variação da demanda (peso do ônibus), o estilo de condução e número de paradas afetam o desempenho da bateria[307] [308].

COLETAR DADOS PARA MELHORAR OS SERVIÇOS.
Ao planejar rotas novas ou ajustadas, os operadores do sistema devem monitorar os dados operacionais para rotas diferentes em seu sistema. Para as cidades dos EUA, os projetos-piloto em King County, em Washington, e Albuquerque, no Novo México, enfrentaram desafios com o esgotamento da bateria devido ao clima e à topografia (muito frio e montanhoso no primeiro caso, e muito quente no segundo)[309]. Esses dados durante os estágios iniciais (ou mesmo avançados) da eletrificação das frotas de ônibus podem

Se o planejamento dos serviços de ônibus elétricos alterar rotas existentes, é importante que envolva a comunidade. A imagem mostra passageiros embarcando em um ônibus no Rio de Janeiro, Brasil.
FONTE: ITDP Brasil, Stefano Aguilar.

304 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
305 UITP, n.d. ZeEUS Demonstrations (Barcelona).
306 Eudy & Jeffers (NREL). 2017. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results: Second Report.
307 Wilson. 2020. To Get More Electric Buses, We Don't Just Need a Better Battery, We Need a Better Grid.
308 Kunith et al. 2017. Electrification of a city bus network—an optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems.
309 Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.

ajudar a modelar os esforços, bem como outras formas de análise que possam ajustar o comportamento dos operadores, os requisitos das rotas e o planejamento do sistema.

ADICIONAR O TEMPO DE CARREGAMENTO À PROGRAMAÇÃO DAS ROTAS E AJUSTAR AS ROTAS PARA QUE PASSEM PERTO DE LOCAIS DE CARREGAMENTO.
Como o carregamento dos BEBs apresenta requisitos diferentes relativos a quando e por quanto tempo "reabastecer" determinado ônibus, é necessário fazer ajustes no horário das rotas. Em Albuquerque, os operadores descobriram que adicionar o horário de carregamento à programação de cada rota (para carregamento por pantógrafo) ajudou a computar o tempo de carregamento necessário e definir expectativas realistas, o que melhorou o desempenho das rotas[310]. É necessário coletar dados sobre o tempo de carregamento durante a fase-piloto. Da mesma forma, é importante otimizar esses tempos e os horários das rotas para reformular com precisão os cronogramas. Os operadores também devem considerar o ajuste dos cronogramas de carregamento com base em períodos de alto tráfego, especialmente para veículos em rotas sem faixas exclusivas ou nos meses em que as condições climáticas forem mais rígidas, quando os BEBs consumirão mais energia em estradas congestionadas. Em relação à localização da infraestrutura, instalar as estações de carregamento (seja em garagens, seja nas rotas) perto dos pontos de partida e de chegada das rotas (ou seja, 1 km ou menos) pode otimizar a autonomia da bateria, sem desperdiçar energia para levar o ônibus até a rota.

USAR O PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO E CONSTRUIR UMA COMUNIDADE.
Os operadores do sistema e os planejadores devem trabalhar para envolver os passageiros no planejamento das rotas de forma a garantir que as mudanças sejam benéficas para os usuários e atrair seu apoio para o projeto[311]. Se forem necessárias mudanças nas rotas ou no planejamento dos serviços, os operadores e as partes interessadas no planejamento devem criar campanhas educacionais para informar a comunidade sobre todas as mudanças planejadas. Isso encorajará a participação e a avaliação da comunidade e garantirá que todos os membros da comunidade sejam informados. A contribuição para o planejamento é uma forma de garantir que as mudanças atendam às necessidades das comunidades locais; em outras palavras, as cidades não devem usar uma abordagem *top-down* [de cima para baixo]. Além disso, como o objetivo da eletrificação costuma ser o cumprimento de metas ambientais, a adoção de veículos elétricos é uma oportunidade para melhor compreender como a justiça ambiental está diretamente ligada à equidade. Por meio de ações de planejamento participativo, os operadores podem alavancar outras mudanças dirigidas à comunidade no sistema de transporte, como a criação de grupos de interesse locais ligados ao transporte público, a defesa da integração modal para melhorar os serviços e a adoção de uma reforma completa das ruas, inclusive com melhorias dos serviços básicos se as ruas forem reconstruídas.

Outras boas práticas pertinentes ao planejamento de rotas são descritas nas boas práticas de operações abaixo.

O treinamento dos motoristas é fundamental para garantir a segurança do carregamento e estender a vida útil das baterias usadas nos ônibus elétricos.
FONTE: Linuxthink, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons.

310 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
311 Grengs, 2007. Community-Based Planning as a Source of Political Change: The Transit Equity Movement of Los Angeles' Bus Riders Union.

7.3
PLANEJAMENTO DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO: CONSIDERAÇÕES E BOAS PRÁTICAS

Os BEBs exigem novas tecnologias, infraestrutura, operações e manutenção. Há oportunidades únicas para os BEBs reduzirem custos e melhorarem o desempenho das baterias por meio de suas operações e manutenção. Ao longo da vida útil do veículo, os custos operacionais de carregamento podem gerar economias significativas em relação ao abastecimento (conforme mencionado nas seções anteriores). Em algumas regiões da Índia, as operações (combustível, pneus, pessoal, entre outros) e a manutenção (cuidado preventivo e capacidade de resposta aos problemas) dos ônibus elétricos custa quase quatro vezes menos que as dos ônibus a diesel, ao passo que, em outras cidades indianas, como Pune, por exemplo, constatou-se que as operações de ônibus elétricos custam apenas 1,5 vez menos que as dos ônibus a diesel[312]. A diferença deve-se às grandes variações nos preços cotados pelos operadores durante as licitações, bem como à variação dos quilômetros rodados[313]. Uma grande vantagem dos BEBs é que o sistema de propulsão é menos complexo e tem menos peças; assim, os BEBs requerem manutenção menos frequente[314]. Além disso, como há menos componentes, o acesso e a substituição de peças são mais rápidos, resultando em custos de mão de obra mais baixos[315]. Por exemplo, no projeto-piloto do órgão Foothill Transit de Los Angeles, a mão de obra e os pneus representaram a maior parte dos custos de manutenção dos BEBs, ao passo que os custos relacionados à propulsão e à mão de obra de manutenção foram maiores para os ônibus a GNC[316]. O gerenciamento adequado pode estender o desempenho diário da bateria, bem como a longevidade de todos os ativos físicos, infraestruturas e tecnologias do novo sistema. Algumas considerações e boas práticas são examinadas abaixo para explorar como os operadores podem otimizar as operações e a manutenção para obter custos anuais mais baixos e um custo total de propriedade competitivo para os BEBs.

CONSIDERAÇÕES SOBRE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO

O desempenho dos BEBs, embora venha se tornando cada vez mais confiável graças às novas tecnologias, permanece uma preocupação significativa para sua adoção, bem como um desafio contínuo para suas operações e manutenção. Os operadores do sistema devem prever uma faixa de desempenho para determinada frota de veículos e se preparar para coletar dados continuamente de forma a rastrear flutuações de desempenho com base na estação do ano e na rota. Um projeto-piloto do sistema ZeEUS em Bonn, na Alemanha, constatou que, atualmente, ainda não é viável substituir um ônibus a diesel por um ônibus elétrico com uma taxa de substituição de 1:1[317]. As boas práticas atuais indicam que taxas entre 1,1:1 e 1,5:1 são bastante favoráveis. O quão próximo um sistema é capaz de chegar a 1:1 dependerá dos seguintes fatores: adequação do planejamento e da programação das rotas; otimização e confiabilidade do desempenho da bateria; e desempenho real (*versus* esperado) dos BEBs. Portanto, é importante compreender as considerações e oportunidades para otimizar as operações e manutenção. Alguns desafios novos e específicos relativos às operações e à manutenção de BEBs são:

PARADA DE CARREGAMENTO.

Treinar os motoristas para estacionar os ônibus de forma apropriada para o carregamento é fundamental para o sucesso das operações. Isso dependerá do tipo de tecnologia de carregamento e do leiaute da infraestrutura. No projeto-piloto do órgão Foothill Transit, os operadores tiveram de reaprender a estacionar, já que os ônibus movidos a combustível exigem desaceleração, ao passo que os ônibus elétricos precisam de aceleração[318]. A equipe concluiu que o treinamento detalhado e contínuo dos motoristas era uma etapa importante para o sucesso das operações. Em Albuquerque, com o carregamento por pantógrafo (suspenso), a equipe do projeto constatou que treinar os motoristas para estacionar adequadamente e usar o estilo de carregamento suspenso era um desafio[319].

TREINAMENTO SOBRE NOVOS NÍVEIS MÍNIMOS DE "COMBUSTÍVEL" E CONSERVAÇÃO DA CARGA DA BATERIA.

A autonomia dos BEBs difere da dos ônibus convencionais a combustível, e pode variar de uma rota para outra. Os motoristas podem não estar familiarizados com a quantidade de carga necessária para concluir uma rota completa ou para levar o ônibus de volta à garagem.

DESLIGAMENTO TOTAL DOS ÔNIBUS

A falta de ruído dos ônibus elétricos pode levar os motoristas a não desligarem totalmente

312 Manifold. March2020 (presentation). Shifting the Gears—Towards Electric Buses: Basics of e-Buses: The Relevance and Possibilities.
313 Personal communication, ITDP India, March 2021.
314 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
315 The University of Tennessee at Chattanooga, n.d. FAQs: Electric and Hybrid Buses.
316 Eudy et al. (NREL). 2016. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results.
317 UITP, n.d. ZeEUS Bonn (DE).
318 Eudy et al. (NREL). 2016. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results.
319 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.

os ônibus ao retornarem à garagem. O órgão Foothill Transit teve de substituir várias baterias de arranque de baixa tensão devido às muitas vezes em que elas foram deixadas ligadas[320].

GESTÃO DO CARREGAMENTO.
A capacidade de carga de cada ônibus pode oscilar de maneira pouco familiar para os operadores de ônibus acostumados com os ônibus convencionais. Gerenciar a capacidade de carga de uma frota e garantir que todos os ônibus estejam com carga otimizada é um desafio comum em projetos-piloto de ônibus elétricos e na ampliação do sistema para toda a frota.

FORMAS DE EVITAR ALTOS CUSTOS DE ELETRICIDADE.
Dependendo da configuração, pode ser logisticamente mais fácil recarregar as baterias durante os horários de pico da rede, mas isso é mais caro. Sempre que possível, os operadores devem tentar carregar os ônibus quando houver poucos outros conectados à rede elétrica de forma a reduzir os custos (especialmente em cidades que adotam a precificação com base na demanda).

FALTA DE COMUNICAÇÃO ADEQUADA COM OS FORNECEDORES E DIFICULDADE EM ADQUIRIR PEÇAS SOBRESSALENTES E DE REPOSIÇÃO.
Os BEBs têm sistemas elétricos e de propulsão diferentes dos veículos ICE, o que gera novos desafios e exige a aprendizagem de protocolos para operar os *hardwares* e *softwares* de ônibus elétricos[321]. É necessário treinamento específico sobre BEBs, além de uma boa comunicação com os fabricantes para superar os novos desafios de manutenção. Devido às variações geográficas da fabricação — além dos impostos de valor agregado e custos totais agregados relacionados à importação de peças — pode ser um desafio para os operadores adquirir componentes de reposição para os BEBs. A falta de padronização das baterias e dos ônibus (devido à variedade atual e às novas tecnologias continuamente emergentes) impõe desafios adicionais. Além disso, mesmo após a aquisição das peças de reposição, atrasos no recebimento podem retardar a manutenção e as operações do sistema.[322]

Ônibus da BYD em circulação em Bengbu, China.
FONTE: DKMcLaren, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons.

320 Eudy et al. (NREL). 2016. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results.
321 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
322 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.

A seção a seguir descreve boas práticas de operações e manutenção, inclusive práticas de treinamento para tratar das considerações apresentadas nesta seção.

BOAS PRÁTICAS DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO

CARREGAMENTO

FAZER AJUSTES SAZONAIS.
Estudos de caso constataram que, em meses muito quentes e muito frios, os horários dos ônibus devem prever tempos de carregamento mais longos para compensar o carregamento mais lento em temperaturas extremas, o maior uso de aquecimento ou condicionamento de ar e o desempenho inferior da bateria[323]. Nos meses de inverno ou verão, pode ser necessário alocar mais ônibus a determinada rota para compensar o desempenho reduzido das baterias[324]. Como resultado dessas sensibilidades à temperatura, os operadores podem precondicionar (ou seja, aquecer ou resfriar) os ônibus nos meses de verão e inverno durante o carregamento para prolongar a capacidade total da bateria[325]. Em cidades de clima quente, é comum que os contratos prevejam a obrigação de instalar condicionadores de ar, e devem ser considerados ajustes nas configurações dos BEBs. Além disso, os operadores podem ajustar a temperatura de aquecimento ou resfriamento em alguns graus para reduzir o uso da bateria: por exemplo, em Washington, D.C., o operador reduziu a temperatura de aquecimento alguns graus no inverno para economizar energia. Os operadores devem compreender como a temperatura e o desempenho da bateria variam com base no tipo de carregamento e de bateria.[326]

TER UM SUPERVISOR QUE MONITORE OS CRONOGRAMAS DE CARREGAMENTO E DE PESSOAL.
Ter um despachante ou supervisor para gerenciar a capacidade de carga e os níveis de todos os BEBs na frota do sistema garantirá que o carregamento não seja desigual ou negligenciado[327]. Além disso, esse ponto de contato pode manter alinhados os cronogramas de carregamento e de pessoal, de modo que todos os BEBs tenham tempo de recarga suficiente e todos os motoristas tenham tempo suficiente para concluir ou iniciar adequadamente seus ciclos de recarga.

NÃO RECARREGAR AS BATERIAS ATÉ 100%.
A vida útil das baterias é prolongada quando elas são recarregadas e mantidas adequadamente. Os operadores de BEBs devem manter a carga das baterias entre 20% e 95% (deve haver um pouco de espaço para a carga gerada pela energia da frenagem regenerativa).[328]

GARANTIR ESPAÇO ADEQUADO E COBERTURA PARA O EQUIPAMENTO DE CARREGAMENTO NAS GARAGENS.
Para recarregar veículos elétricos com segurança e eficiência, é importante certificar-se de que as garagens e áreas de carregamento estejam bem cobertas e ventiladas para evitar a exposição dos veículos e baterias a condições climáticas variáveis. Isso deve ser estipulado nos contratos.

AJUSTAR OS CRONOGRAMAS DE CARREGAMENTO E EVITAR HORÁRIOS DE PICO.
Quando as rotas de ônibus são planejadas de forma que os ônibus cheguem à(s) garagem(ens) de maneira escalonada, isso pode reduzir as tarifas de alta demanda. O escalonamento do carregamento para nivelar a curva de carregamento pode reduzir a demanda de energia elétrica e os custos gerais[329]. Os operadores devem considerar a hora de carregamento, de preferência carregando os ônibus durante os períodos de baixo consumo energético para evitar o alto custo de carregamento no período de pico.

DESEMPENHO DA BATERIA

FORNECER TREINAMENTO AOS MOTORISTAS SOBRE A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA BATERIA E DEFINIR UM MÍNIMO DE CARGA PARA RETORNAR À INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO.
Os operadores devem compreender a carga mínima da bateria necessária para que todos os ônibus em todas as rotas possam retornar à garagem ou a outra infraestrutura. Ficar abaixo desse limite pode afetar negativamente a vida útil da bateria.

323 Eudy & Jeffers (NREL). 2017. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results: Second Report.
324 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
325 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
326 UITP, n.d. ZeEUS Eindhoven (NL).
327 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
328 Hill (Mass Transit). 2015. Battery Bus Range: It's All in the Math.
329 Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
330 UITP, n.d. ZeEUS Eindhoven (NL).
331 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
332 The University of Tennessee at Chattanooga, n.d. FAQs: Electric and Hybrid Buses.
333 Li. 2016. Battery-Electric Bus Developments and Operations: A Review.

INSTRUIR OS MOTORISTAS SOBRE COMO PROLONGAR A VIDA ÚTIL DA BATERIA AJUSTANDO SEU ESTILO DE CONDUÇÃO.
Capacitar os motoristas para operar ônibus elétricos é importante para ampliar a limitada autonomia diária[330]. A frenagem regenerativa pode preservar a capacidade da bateria, e a autonomia pode variar em até 20% conforme o estilo de frenagem de cada motorista[331]. Os motoristas devem ser educados sobre os benefícios da aceleração suave e da frenagem regenerativa, bem como sobre o funcionamento do sistema de propulsão elétrica, para que saibam como otimizar a longevidade da bateria[332]. Um bom comportamento ao conduzir os veículos (ou seja, aceleração e desaceleração lentas) pode melhorar a autonomia da bateria em até 30%[333].

COLABORAÇÃO COM FORNECEDORES

REALIZAR A MANUTENÇÃO E AS OPERAÇÕES CONFORME AS DIRETRIZES DOS FORNECEDORES; ESTABELECER UMA COMUNICAÇÃO CLARA COM OS FORNECEDORES; E GARANTIR QUE AS PEÇAS DE REPOSIÇÃO DOS BEBS POSSAM SER OBTIDAS COM AGILIDADE.
Os operadores e o pessoal de manutenção devem compreender e seguir as boas práticas informadas pelos fornecedores para prolongar a vida útil das peças substituíveis, como baterias, motores elétricos e sistemas de controle. Isso é importante, pois o baixo desempenho das baterias pode demandar sua substituição duas ou três vezes em um ciclo de vida de 15 a 20 anos[334]. Além de seguir esses protocolos dos fornecedores, também é importante manter canais de comunicação com eles. É mais fácil gerenciar e aprender novos códigos de erro do sistema de *software* quando o pessoal de manutenção tem comunicação clara e oportuna com os fornecedores sobre erros de manutenção[335]. Essa comunicação também é importante para os reparos, já que os operadores devem trabalhar com os fabricantes para garantir que as peças sobressalentes estejam disponíveis e os reparos possam ser feitos rapidamente.[336]

INSTRUIR A EQUIPE DE OPERAÇÕES E DE MANUTENÇÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS DE BEBS.
O treinamento deve cobrir as formas como a equipe, os operadores e os parceiros devem interagir e gerenciar novos equipamentos e tecnologias específicas de BEBs (por exemplo, condução, carregamento, resposta inicial, despacho e reparos)[337]. Em um projeto-piloto do sistema ZeEUS em Münster, a equipe do projeto constatou que muitos problemas técnicos frequentes resultavam de imperícia operacional ou do mau funcionamento do veículo, em vez de problemas com o *hardware* ou *software* dos BEBs[338]. A equipe verificou que oferecer suporte de treinamento a bordo durante as operações em tempo real aumentava a confiança e a capacidade operacional dos motoristas e reduzia esses problemas.[339]

COLETAR DADOS PARA GARANTIR QUE A AUTONOMIA PREVISTA SE ALINHE À REAL.
Devem ser continuamente coletados dados sobre o desempenho da bateria para que os operadores possam determinar o quão próximo da autonomia esperada estão os ônibus de sua frota[340]. Isso é importante não apenas para instruir os motoristas sobre a autonomia mínima para retornar à garagem, mas também para garantir que a autonomia prevista pelo fabricante se alinhe à autonomia real da frota, especialmente se isso estiver vinculado a contratos e financiamento. Os dados coletados podem embasar decisões sobre o desempenho dos ônibus e baterias, a transição das frotas, a otimização das rotas e boas práticas de manutenção e operações, entre outros fatores

Cuidadora e criança embarcam em um ônibus no Rio de Janeiro, Brasil. **SOURCE:** Stefano Aguilar, ITDP Brasil.

334 Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
335 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
336 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
337 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.
338 UITP, n.d. ZeEUS Munster (DE).
339 UITP, n.d. ZeEUS Munster (DE).
340 Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.

7.4
FIM DA VIDA ÚTIL: DESCARTE DE BATERIAS

Considera-se que as baterias estejam no "fim de sua vida útil" ou precisem ser substituídas quando elas atingem aproximadamente 60% a 80% de sua capacidade original[341]. A vida útil de uma bateria normal deve variar de 6 a 12 anos, com vários fabricantes oferecendo garantias de até 12 anos[342]. É importante notar que poucas baterias de ônibus já passaram por um ciclo de vida completo; portanto, muitas dessas estimativas são baseadas em projeções. Problemas relacionados a um mau desempenho da bateria, como, por exemplo, a baixa voltagem — como se viu no caso do Foothills Transit em Los Angeles — podem reduzir a vida útil da bateria em alguns anos.[343]

Atualmente, o descarte ao fim da vida útil representa um desafio significativo para o mercado de ônibus elétricos. Dada a adoção relativamente recente de ônibus elétricos em todo o mundo, as práticas de fim de vida útil para ônibus, baterias e outras infraestruturas do sistema podem variar. As baterias de veículos elétricos pessoais podem ser recicladas com mais facilidade (e empresas como BMW, Nissan, Renault, Tesla, Volvo e Yin-Long no mercado de VEPs já oferecem programas de reutilização e reciclagem da vida útil da bateria). Todavia, o desafio é muito maior no caso dos BEBs[344], pois são poucas as baterias que já chegaram ao fim de sua vida útil (devido ao fato de os BEBs serem mais recentes) e ao fato de os módulos de baterias de BEBs serem estruturas maiores e mais complexas[345]. Atualmente, não existe um processo padronizado para descartar ou reciclar baterias de BEBs. No entanto, é provável que a reciclagem se torne cada vez mais fácil à medida que as baterias dos BEBs atualmente em uso chegarem ao fim de seu ciclo de vida e haja um maior suprimento de baterias para reciclar. Da mesma forma, devido à grande variedade atual de tecnologias concorrentes, há muitos tipos de estruturas e materiais de baterias para reciclar. À medida que as tecnologias de baterias se tornarem mais padronizadas no futuro, aumentarão sua popularidade e a facilidade de reciclagem[346]. O setor deve aprender a lidar com isso, especialmente com os governos definindo os requisitos para o descarte seguro de baterias. Atualmente, o descarte inadequado pode levar à contaminação de materiais perigosos na área de descarte e aumentar as emissões ao longo da vida de cada BEB[347]. Portanto, é importante que as aquisições e/ou contratos definam qual parte interessada será responsável pela reciclagem ou descarte ao final da vida útil, tanto financeira quanto logisticamente.

FIM DE VIDA: DESCARTE DE ÔNIBUS

Como poucos BEBs chegaram ao fim de sua vida útil, há poucas pesquisas disponíveis sobre descarte, revenda e reciclagem de ônibus. Na verdade, devido à carência de dados, muitas avaliações do ciclo de vida dos BEBs não incluem o descarte[348] [349]. Além disso, não existe um mercado de revenda definido para os BEBs, ao contrário dos ônibus a diesel. Embora os planejadores possam levar em consideração o valor de descarte/revenda em seus modelos de TCO, o mercado provavelmente mudará drasticamente nos próximos anos, à medida que chegarem ao fim da vida os ônibus implantados em várias cidades ao redor do mundo — especialmente nas cidades chinesas, que já atingiram mais maturidade nesse sentido.

341 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
342 Johnson et al. (NREL). 2019. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
343 Eudy & Jeffers. 2019. Foothill Transit Agency Battery Electric Bus Progress Report.
344 Melin (Circular Energy Storage), n.d. The Lithium-Ion Battery End-of-Life Market—A Baseline Study.
345 ICCT. 2018. Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions.
346 ICCT. 2018. Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions.
347 Geuss. 2019. Electric Car Batteries Might Be Worth Recycling, But Bus Batteries Aren't Yet.
348 Gharaei et al. 2020. Comparative Lifecycle Assessment of Diesel, Hydrogen and Electric Buses in Real Driving Cycles in Tehran.
349 Jwa & Lim. 2017. Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Battery Electric Bus and Diesel Bus From Well to Wheel.

Uma possível maneira de reaproveitar as baterias de ônibus seria para armazenamento de *backup* e de rede, bem como para o carregamento de outras tecnologias. Na Espanha, a empresa de ônibus elétricos Irizar está experimentando o reaproveitamento de baterias de ônibus para postos de recarga de veículos elétricos[350]. Devido ao carregamento mais frequente das baterias de BEBs, a vida útil das baterias (aproximadamente 6 a 12 anos) é geralmente mais curta que as de veículos elétricos pessoais (que pode atingir de 10 a 20 anos)[351] [352]

COLABORAÇÃO COM FABRICANTES

Os operadores devem colaborar com os fabricantes para planejar o descarte ou a reutilização das baterias ao final de sua vida útil (com a flexibilidade e o incentivo para adotar um novo método de descarte ao fim da vida útil se surgirem novas tecnologias). Isso pode estar incluído nas garantias vitalícias de ônibus e/ou baterias. Por exemplo, a BYD oferece garantias vitalícias que incluem o descarte ao fim da vida útil da bateria do ônibus[353]. Os operadores também podem adotar um modelo de *leasing* de baterias no qual os fabricantes mantenham a propriedade das baterias. Em tal modelo, os fabricantes de baterias e veículos podem até ser incentivados a manter o controle das baterias para obter o máximo valor possível de cada unidade[354]. As opções de *leasing* de baterias podem, em particular, reduzir o desperdício transacional, permitindo que os fabricantes não percam nada do preço dos BEBs e/ou das baterias com intermediários[355]. Trata-se de uma vantagem especial do mecanismo de financiamento de *leasing* de baterias, descrito na seção 6, Custeio, financiamento e modelo financeiro.

PROMOÇÃO DE POLÍTICAS REGULADORAS E REQUISITOS DE FIM DE VIDA

Dadas as barreiras atuais relativas ao manuseio de baterias em fim de vida, os operadores e as partes interessadas no planejamento devem colaborar com governos locais, regionais e nacionais para promover políticas que regulamentem os requisitos de baterias em fim de vida. Isso também é útil para reduzir a incerteza em torno do valor residual dos ônibus[356]. Com a promoção de políticas reguladoras, as partes interessadas e os deveres são detalhados de forma mais clara, o que reduz a incerteza quanto às responsabilidades no fim da vida dos ativos[357].

ABAIXO:
Novos ônibus elétricos para a frota da TransMilenio em Bogotá, Colômbia. A cidade já dispõe de 350 ônibus em circulação e pretende chegar a 1.450 no prazo de um ano.
FONTE: BYD Colombia, CC BY-SA 2.5, Wikimedia Commons.

350 Shahan (Clean Technica). 2021. New Charging Station in Spain Uses 2nd-Life Electric Bus Batteries.
351 Enel X. 2020. How Long Do Car Electric Batteries Last?
352 Melin (Circular Energy Storage), n.d. The Lithium-Ion Battery End-of-life Market—a Baseline Study.
353 ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.
354 Melin (Circular Energy Storage), n.d. The Lithium-Ion Battery End-of-life Market—a Baseline Study.
355 Melin (Circular Energy Storage), n.d. The Lithium-Ion Battery End-of-life Market—a Baseline Study.
356 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.
357 Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2.

M10 S Nordbahnhof
BVG

ESTRATÉGIAS DE APOIO

PÁGINA AO LADO
Ruas completas, como esta em Berlim, Alemanha, reduzem os congestionamentos e recuperam mais espaço para pedestres e ciclistas
FONTE:
Eric Sehr, Flickr.

8

Além da transição para frotas de ônibus elétricos públicos, há uma série de estratégias de apoio que os operadores e servidores envolvidos no planejamento podem adotar para promover os benefícios ambientais e sociais que os BEBs podem oferecer. Em primeiro lugar, a eletrificação do transporte público deve ser vista como parte de uma estratégia de mobilidade com emissão zero que vise à criação de redes de transporte urbano mais sustentáveis e resilientes[358]. Por si só, a eletrificação não torna o sistema de transporte mais sustentável, nem o movimento rumo a novas tecnologias o torna mais resiliente. Além disso, um número ilimitado de veículos verdes não constitui um sistema de transporte sustentável[359]. Os planejadores urbanos e os operadores também devem empregar estratégias que melhorem o acesso da comunidade, reduzam as emissões ambientais e aumentem os benefícios socioeconômicos, tais como:

PROMOVER POLÍTICAS QUE INCENTIVEM A ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE EMISSÃO ZERO.
Padrões de emissões veiculares, regulamentos sobre a qualidade de combustíveis, reformas dos tributos sobre veículos e combustíveis, compromissos para adquirir veículos com emissão zero e implementação de zonas de baixa ou nenhuma emissão em cidades são táticas que os governos nacionais, regionais ou municipais podem empregar para encorajar a adoção de BEBs.[360]

REDUZIR O TRÁFEGO.
As cidades devem viabilizar políticas de redução do tráfego e estratégias de precificação nas vias públicas, ao mesmo tempo que estimulam o uso do transporte público. Isso é importante para incentivar a mudança para modos de transporte mais sustentáveis, tais como mobilidade compartilhada, transporte público, bicicleta e caminhada. As frotas de ônibus elétricos são preferíveis aos veículos pessoais elétricos, pois os BEBs reduzem as emissões prejudiciais a taxas significativamente mais altas por passageiro que a transição para os veículos elétricos pessoais.

TORNAR A REDE ELÉTRICA VERDE (AUMENTAR O USO DE FONTES RENOVÁVEIS E LIMPAS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA).
Os benefícios ambientais dos ônibus elétricos podem variar dependendo de quão limpa e sustentável for a energia produzida pela rede que recarrega os ônibus. Logo, deve haver um esforço coordenado para modernizar as redes elétricas e adotar mais fontes de energia limpa. As possibilidades variam de acordo com o local e também com os contextos financeiros.

INTEGRAR O PLANEJAMENTO DE BEBS AO DESENVOLVIMENTO URBANO.
Os BEBs oferecem uma oportunidade para reduzirmos as emissões nas cidades. Quando é possível planejar a eletrificação do transporte com comunidades compactas e conectadas que incentivem deslocamentos curtos a pé ou em bicicleta (aliados ao transporte público de baixa emissão para distâncias mais longas), as cidades podem aumentar significativamente os benefícios ambientais, econômicos e sociais do desenvolvimento urbano e do transporte.

INTEGRAR OS SERVIÇOS DE ÔNIBUS A OUTROS MODOS PARA CRIAR UMA REDE DE TRANSPORTE SUSTENTÁVEL.
As cidades devem trabalhar para integrar as rotas de ônibus ao gerenciamento da demanda por deslocamentos e a programas de redução de emissões para criar redes de transporte multimodais e sustentáveis que viabilizem diversos modos e ofereçam aos cidadãos urbanos opções de transporte adequadas. Da mesma forma, as cidades devem planejar a integração das rotas de ônibus e da rede mais ampla à rede de bicicletas e pedestres.

358 UITP. 2019. The Impact of Electric Buses on Urban Life.
359 UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.
360 Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets.

DESTAQUE SOBRE POLÍTICAS DE APOIO

A adoção de políticas que viabilizem a eletrificação é uma estratégia de apoio importante que qualquer cidade pode e frequentemente deve adotar. A China desenvolveu os mais avançados mercados e frotas de ônibus elétricos do mundo por meio de políticas de apoio (ver Estudo de Caso do ITDP China). Muitas outras cidades e países estão seguindo seu exemplo:

SANTIAGO, CHILE

Em 2018, o governo chileno estabeleceu a Estratégia Nacional de Eletromobilidade para conduzir a transição para ônibus mais limpos. Em meados de 2020, a cidade já tinha mais de 410 ônibus elétricos em circulação — na época, a maior frota da América Latina e a segunda maior do mundo. O novo processo licitatório para ônibus de transporte público em Santiago deve incluir incentivos para a inclusão e renovação de veículos limpos para a frota, tais como:

- Disponibilizar terminais temporários para os ônibus estacionarem enquanto se recarregam após as rotas;
- Garantir que os novos veículos sejam mais eficientes em termos de energia e emitam menos poluentes.

LONDRES, REINO UNIDO

Em 2014, a Transport for London lançou a Estratégia de Ar Mais Limpo em Londres [*Cleaner Air Strategy for London*] com o propósito de encorajar a transição para ônibus limpos[361]. Em 2018, a estratégia foi impulsionada pelo governo municipal com a criação da Força-Tarefa de Veículos Elétricos[362]. Para atingir os objetivos da Estratégia CleanAir, os contratos devem incluir concessões para:

- Adaptar as garagens para ônibus elétricos, com espaço adequado (ampliado) para armazenamento e carregamento de veículos;
- Exigir que os novos veículos adotem o sistema europeu de padrões de emissões e garantir que os ônibus antigos tenham filtros para reduzir os níveis de emissão; e
- Fornecer treinamento aos motoristas com foco na redução de emissões.

BOGOTÁ, COLÔMBIA

Em 2019, o presidente Iván Duque assinou a Lei 1964, que promove a adoção de veículos com energia limpa e estabelece uma meta de 100% dos veículos adquiridos para sistemas de transporte público com emissão zero até 2035[363]. Em resposta, Bogotá estabeleceu novos critérios em 2019 para incorporar veículos elétricos a suas compras públicas. Os requisitos são:

- Os contratos devem destacar a necessidade de adquirir tecnologias de emissão zero ou de baixa emissão;
- Os novos modelos de contrato devem separar os contratos de fornecimento e de operação de veículos;
- Os contratos devem prever espaço suficiente nas garagens ou rotas para recarregar, operar e manter a frota com segurança;
- Os motoristas devem receber formação regular obrigatória.

Em dezembro de 2020, Bogotá recebeu os primeiros 120 veículos de um pedido de 470 BEBs[364]. Em janeiro de 2021, a BYD ganhou outra licitação com Bogotá, que entregará 406 BEBs até o final de 2021, o que elevará a frota da cidade para 889 BEBs.[365]

O emprego dessas estratégias em conjunto com a eletrificação das frotas de transporte público terá efeitos multiplicadores sobre a qualidade do ar, a mobilidade sustentável e a saúde urbana.[366]

361 Transport for London, n.d. Improving Buses.
362 Mayor of London. 2018. Mayor Launches New Taskforce to Expand Electric Vehicle Infrastructure. Lefevre et al., (Inter-American Development Bank). 2019.
363 Bogotá is a Pioneer in Acquiring Electric Buses by Tender.
364 Sustainable Bus. 2020. BYD Has Delivered the First 120 E-Buses Out of 470 Unit Order in Bogotá (Colombia).
365 Sustainable Bus. 2021. Another Batch of 406 E-Buses for Bogotá (Colombia). Again with BYD's Logo.
366 UITP. 2019. The Impact of Electric Buses on Urban Life.

Pedestres, bicicletas, transporte público e veículos particulares circulam pelo mesmo cruzamento com segurança
FONTE:
City of St. Pete, Flickr.

GESTÃO DA MOBILIDADE
para cidades inclusivas

Priorizar pessoas ao invés de carros torna as ruas mais calmas, limpas e seguras para todos

ITDP

Realocação de espaço viário para as pessoas

BAIXA CAPACIDADE NECESSÁRIA

Estratégias
- Pedestrianização
- *Transit Malls*
- Ruas completas

Redesenho das vias com mais espaço dedicado a pedestres, ciclistas e transporte público.

Modos sustentáveis se tornam mais rápidos, seguros e mais convenientes do que dirigir.

Reformas de estacionamento

MÉDIA CAPACIDADE NECESSÁRIA

Estratégias
- Tarifação em via baseada na demanda
- Limites máximos de vagas em vias
- Tarifação de estacionamento comercial

Tarifar estacionamento em vias públicas e reduzir a oferta de vagas fora das vias.

A tarifação de estacionamentos reflete o seu custo real e é menos atrativo quando comparado com a mobilidade a pé, por bicicleta e por transporte público.

Receitas cobrem custos operacionais e financiam melhorias no transporte sustentável.

Definição de zonas com restrição de veículos

ALTA CAPACIDADE NECESSÁRIA

Estratégias
- Zonas de baixa emissão
- Precificação de congestionamento
- Zonas de tráfego limitado

Restringir acesso ou precificar a entrada em determinadas zonas.

Precificação reduz a quantidade de carros ao refletir o custo real de seu uso.

Receitas cobrem custos operacionais e financiam melhorias no transporte sustentável.

Saiba mais em itdpbrasil.org

CONCLUSÃO

9

Os BEBs representam uma oportunidade significativa para as cidades alcançarem metas ambientais urgentes e evitarem danos irreparáveis resultantes das mudanças climáticas. Ao eletrificarem suas frotas públicas, as cidades podem melhorar suas redes de transporte sustentável e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões globais e locais, além de melhorar a qualidade de vida dos residentes urbanos. Os avanços nas tecnologias de BEBs vêm aumentando sua confiabilidade, ao passo que mecanismos inovadores de financiamento têm ampliado a adoção e a oportunidade de eletrificação da frota pública. Os ônibus elétricos estão expandindo sua participação no mercado, representando uma porcentagem maior da quilometragem percorrida (VKT) e de emissões veiculares per capita que os VEs pessoais. Isso permite que as cidades realizem a transição de um número menor de veículos e alcancem uma parcela maior de VKT eletrificada, bem como maiores reduções de emissões totais. Portanto, a adoção de frotas de BEBs pode melhorar a qualidade atmosférica local e reduzir a poluição sonora, aumentando, ao mesmo tempo, a eficiência energética nos transportes e nas redes urbanas.

A adoção de ônibus elétricos e a expansão das frotas dependem da capacidade das cidades de otimizarem os mecanismos de financiamento de BEBs e as opções de custeio, carregamento, operações e manutenção. ***O TCO dos ônibus elétricos pode se comparar ao dos ônibus a diesel, adotando mecanismos de financiamento flexíveis e resilientes e garantindo economias nas operações e na manutenção.*** Para que isso seja bem-sucedido, é fundamental manter o foco nos seguintes objetivos e ações:

OBJETIVO DO PROJETO	PRINCIPAIS AÇÕES PARA O SUCESSO
Autonomia da bateria, tipo de ônibus e modelos de carregamento adequados para a área urbana e a rede existente	- Pesquisar tecnologias comerciais e infraestruturas disponíveis; - Avaliar, em conjunto com os prestadores de serviços públicos atuais, as opções de carregamento levando em consideração as oportunidades e restrições dos BEBs; - Identificar como a demanda por deslocamentos, a topografia urbana e o clima podem afetar a vida útil das baterias; - Conduzir um projeto-piloto que seja representativo das oportunidades e desafios locais; coletar dados para melhorar as aquisições e operações; e ajustar o planejamento da frota com base no projeto-piloto.
Infraestrutura bem projetada	- Compreender as vantagens e considerações geográficas locais; - Modelar a localização da infraestrutura de carregamento; - Realizar projetos-piloto para garantir área e conexões à rede adequadas; - Descrever os requisitos das garagens e da infraestrutura nos contratos; - Envolver diferentes partes interessadas no planejamento da infraestrutura.
Rotas e serviços bem planejados	-Modelar as rotas e serviços de ônibus; - Verificar e comparar dados operacionais de cidades com condições semelhantes (tamanho da frota, topografia, clima, condições de tráfego); - Coletar e monitorar dados operacionais; Fundamentar as decisões com dados; - Se os serviços tiverem de ser alterados, usar formas de planejamento participativo para melhorar as rotas e buscar o consenso da comunidade; - Adicionar tempos de carregamento às programações das rotas; - Ajustar as rotas para melhorar a conectividade de carregamento dos BEBs (se necessário).

PÁGINA AO LADO
Passageiros desembarcam de um veículo do sistema de BRT Transjakarta em Jacarta, Indonésia.
FONTE: ITDP Indonesia.

Operações de suporte e manutenção	- Incluir requisitos de treinamento e manutenção específicos para BEBs nos contratos; - Definir padrões de desempenho nos contratos; - Avaliar diferentes estruturas de propriedade e responsabilidade (detalhadas nos contratos e instrumentos de financiamento) para escolher aquela que levará à melhor divisão de responsabilidades com base nas diferentes capacidades das partes interessadas; - Oferecer treinamento específico aos operadores e às equipes de manutenção sobre ônibus elétricos a bateria; - Realizar as operações e a manutenção de acordo com as orientações do fabricante.
Políticas e estratégias de apoio	- Elaborar novas políticas e/ou atualizar as existentes para incentivar a adoção de veículos com emissão zero, bem como a infraestrutura de carregamento elétrico e conexões de rede correspondentes; - Alinhar contratos à legislação ambiental, incentivando a redução de emissões e a adoção de tecnologias de emissão zero; - Alinhar as políticas às pautas ambientais e sanitárias da cidade; - Adotar estratégias de apoio (reduzir o tráfego, tornar a rede mais verde, envolver e educar a comunidade, integrar o planejamento dos BEBs ao planejamento e melhoria do uso do solo e integrar o serviço de ônibus com outros modos, entre outros) para criar uma rede de transporte sustentável.
Custeio adequado e mecanismo de financiamento viável	- Utilizar recursos e incentivos financeiros locais, estaduais e nacionais; - Considerar mecanismos de financiamento inovadores, tais como *leasing* de baterias, *leasing* financeiro e empréstimos/títulos verdes; - Considerar novas partes interessadas para mecanismos de financiamento, tais como concessionárias de serviços públicos (energia) ou empresas de investimentos; - Forjar parcerias com concessionárias de serviços públicos para estender a rede, reduzir os custos de carregamento e instalar infraestrutura pelo menor custo.
Comunicação clara e apoio adequado das partes interessadas	- Aumentar a capacitação interna por meio de coletas de dados e *workshops*; - Buscar apoio externo envolvendo a comunidade e disponibilizando informações/dados sobre o projeto de eletrificação ao público e à sociedade civil; - Reunir-se com a concessionária no início do processo de planejamento; - Ter clareza quanto aos desafios que os governos enfrentarão e estabelecer expectativas claras dos setores público e privado.

Os ônibus elétricos têm um enorme potencial para melhorar os sistemas de transporte urbano. Ao executar essas etapas, as cidades podem trabalhar para alcançar as metas climáticas na próxima década e além.

9.1
ÁREAS A SEREM EXPLORADAS E PRÓXIMOS PASSOS

À medida que o mercado crescer e forem desenvolvidas mais pesquisas, algumas áreas a serem exploradas são:

BOAS PRÁTICAS CONTRATUAIS PARA BEBS.
Como os BEBs têm financiamento distinto em comparação com outros tipos de ônibus e há vários mecanismos de financiamento disponíveis, é difícil identificar boas práticas contratuais. Além disso, os contratos podem ser difíceis de adquirir e geralmente são altamente detalhados.

OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO APRIMORADAS.
À medida que aumentarem os aprendizados e as experiências no mundo real, melhorar as operações e a manutenção visando a se aproximar o máximo possível a uma taxa de substituição de 1:1 entre ônibus elétricos e ônibus a diesel será fundamental para o sucesso das frotas de BEBs em grande escala. Atingir uma taxa de substituição próxima a 1:1 economizará dinheiro, e o foco nas operações e na infraestrutura de carregamento garantirá que isso aconteça.

MELHOR COMPREENSÃO SOBRE AS INTERSEÇÕES ENTRE CARREGAMENTO, TIPO DE BATERIA E PLANEJAMENTO OPERACIONAL.
Para que os ônibus elétricos sejam bem-sucedidos no futuro, é importante que haja mais pesquisas, aplicações e boas práticas para as soluções atualmente populares de baterias e carregamento, bem como para as baterias e tecnologias menos usadas. Embora as baterias LFP continuem a ser o tipo mais popular, há um interesse crescente em outras baterias que podem oferecer maior durabilidade e confiabilidade. O carregamento sem fio pode oferecer operação contínua e ampla energia da bateria para realizar todos os serviços de ônibus. Sua aplicação ainda é limitada devido aos altos custos e aos custos significativos para a instalação de infraestrutura. São necessários mais avanços tecnológicos na área de tecnologias de carregamento e de baterias. Também é importante aumentar a compreensão sobre como essas tecnologias se relacionam com o interesse em melhorar as operações de ônibus para chegar o mais próximo possível a uma taxa de substituição de 1:1 entre ônibus elétricos e ônibus a diesel.

BATERIAS COM MAIOR VIDA ÚTIL, MAIS CONFIABILIDADE E MENOR CUSTO.
O baixo desempenho e a falta de confiabilidade das baterias continuam a impor desafios para os serviços de BEBs, a vida útil das baterias e o custo total de propriedade.

RECICLAGEM, SEGUNDA VIDA E DESCARTE DE BATERIAS.
O atual estado de incerteza quanto ao fim da vida útil das baterias representa um desafio para a adoção de BEBs. Além disso, atualmente o descarte inadequado aumenta as emissões gerais ao longo da vida, o que pode ser evitado. Embora as empresas de VEPs estejam desenvolvendo programas de reciclagem, modernização e reutilização de baterias, ainda há muito trabalho a ser feito no caso dos BEBs. As pesquisas devem se concentrar na compreensão de como as baterias de BEBs podem ser reutilizadas ou reaproveitadas — por exemplo, usando-as para armazenamento descentralizado de energia ou como materiais reciclados para baterias novas.

ELIMINAÇÃO GRADUAL E DESCARTE DE ÔNIBUS A DIESEL.
Como as maiores vantagens da adoção dos ônibus elétricos estão ligadas aos benefícios ambientais dos veículos utilizados, é importante que a transição para ônibus elétricos seja ambientalmente responsável. Mais pesquisas devem ser conduzidas sobre boas práticas para o reaproveitamento e descarte de ônibus a diesel.

APÊNDICE

10

10.1 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

A tabela a seguir, criada pelo ITDP China, apresenta algumas métricas para avaliar as operações de BEBs.

INDICADOR	DADOS NECESSÁRIOS	MÉTODO DE CÁLCULO
Especificações dos ônibus (avaliar a capacidade da frota de ônibus)		
Capacidade de passageiros	Dados de leitura dos cartões de ônibus e dados de pagamento em dinheiro	Contagem total dos cartões e dos pagamentos em dinheiro = número total de passageiros de todas as linhas de ônibus
Taxa de substituição (ou seja, a razão entre o número de ônibus elétricos e ônibus a diesel em determinada linha)	Número de ônibus elétricos e ônibus a diesel/gasolina na linha	Número de BEBs em todas as rotas = ---------- Número de ônibus a diesel/gasolina/ GNC em todas as rotas
Operações e manutenção (avaliar o nível dos serviços, a eficiência operacional e a capacidade de manutenção do sistema de ônibus)		
Frequência de saída dos ônibus no horário de pico	Horário dos ônibus fornecido pela empresa de ônibus	Dados fornecidos pela empresa de ônibus
Velocidade média durante o horário de pico	Dados do GPS do veículo	Dados fornecidos pela empresa de ônibus
Taxa de capacidade total no horário de pico	Número de passageiros transportados por seção transversal dos veículos durante os horários de pico	Dados de pesquisas de campo
Taxa de uso de BEBs (ou seja, quantos ônibus estão em operação diária)	Número de ônibus elétricos em operação	Número de BEBs em operação % = (----------) x 100 Número total de BEBs
Distância de operação diária de ônibus elétricos	Distância total de operação de ônibus elétricos	Distância total de operação de BEBs = ---------- Total de dias de operação
Distância de operação válida	Distância total percorrida nas linhas e distância total percorrida	Distância total percorrida em todas as rotas = ---------- Distância total percorrida
Tempo médio de operação por dia	Tempo total de operação	Tempo total de operação = ---------- Total de dias de operação
Taxa de falhas	Tempo total de falhas e distância total de operação	Número total de avarias = ---------- x 10.000 Distância total de operação

PÁGINA AO LADO
Passageiros viajam confortavelmente em um ônibus elétrico em Katmandu, Nepal.
FONTE: Gaurav Dhwaj Khadka, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons.

INDICADOR	DADOS NECESSÁRIOS	MÉTODO DE CÁLCULO
Infraestrutura de carregamento e baterias (avaliar a viabilidade do plano de carregamento e o desempenho da bateria)		
Frequência média de recargas por dia	Tempo total de carregamento	Número total de recargas = ---------- Número total de dias de operação
Tempo médio de carregamento por dia	Tempo total de carregamento	Tempo total de carregamento = ---------- Total de dias de operação
Consumo real de energia por 100 km	Consumo total de energia e distância total de operação	Consumo total de energia = (----------) x 100 Distância total de operação
Tempo total de espera em fila para carregamento	Tempo total de espera em fila para carregamento de ônibus elétricos	Dados de pesquisas da empresa de ônibus
Duração do tempo de falhas	Duração do tempo de falhas	Dados de pesquisas da empresa de ônibus
Taxa de degradação da bateria a cada 10 mil km (também chamada de taxa de autodescarga)	Distância de resistência declarada da bateria, distância de resistência real e distância operacional total	(Autonomia declarada da bateria - autonomia real) = (----------) x 10.000 x 100% (autonomia declarada da bateria x distância operacional total)

10.2
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

Abramskiehn & Clark (The Lab). 2018. Pay as You Save for Clean Transport.
Adheesh et al. 2016. Air Pollution and Economics: Diesel Bus vs Electric Bus.
Agusdinata et al. 2018. Socioenvironmental Impacts of Lithium Mineral Extraction: Toward a Research Agenda.
Ali et al. 2020. The effects of air pollution on COVID-19 infection and mortality—a review on recent evidence. Frontiers in Public Health, 8.
APTA. 2020. (Presentation). Resiliency for Battery Electric Buses: Best Practices & Future Strategies.
Asian Development Bank. 2018. Sustainable Transport Solutions: Low-Carbon Buses in the People's Republic of China.
Automotive World. 2013. Volvo sells 200 hybrid buses to Bogotá, Colombia.

B

Bak et al. 2018. Strategies for Implementing Public Service Electric Bus Lines by Charging Type in Daegu Metropolitan City, South Korea.
Bernard van Leer Foundation. 2019. An Urban95 Starter Kit—Ideas for Action.
Bhardwaj et al. 2019. New Powers: How India's Smart Cities Are Governing and Transitioning to Low-Carbon Energy.
Bi et al. 2018. Integrated Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Model for Comparing Plug-in Versus Wireless Charging for an Electric Bus System.
Blanco. 2019. Proterra Ready for Electric Bus Battery Leasing With $200-Million Credit Facility.
Bloomberg Finance L.P. 2018. Electric Buses in Cities: Driving Toward Cleaner Air and Lower CO_2.
Bolloré, n.d. Electricity Storage and Systems: Brittany.
Bouslog (Burns McDonnell). 2018. Electrifying the Nation's Mass Transit Bus Fleets.
BYD. 2020. BYD Delivers 10 Battery-Electric Buses to Link Transit.
BYD, n.d. Bus Electrico K9G.
BYD, n.d. Bus Electrico K11A.
BYD, n.d. The BYD C8MS: Battery Electric—Zero Emissions.
BYD, n.d. The BYD C10MS: Battery Electric—Zero Emissions.
BYD, n.d. The BYD K9: Battery Electric—Zero Emissions.
BYD, n.d. The BYD K9S: Battery Electric—Zero Emissions.

BYD, n.d. The BYD K11: Battery Electric—Zero Emissions.
BYD, n.d. The World's First 40-ft-Long Battery-Electric Bus.
BYD Motors LLC. 2021. BYD Wins Largest Pure-Electric Bus Order Outside of China.

C

C40 Cities, n.d. Fossil Fuel Free Streets Declaration.
C40 Cities. 2020. How to Shift Your Bus Fleet to Zero Emissions by Procuring Only Electric Buses.
C40 Cities Finance Facility & Grutter Consulting. 2018. Evaluation of Electric Buses for Eje 8 Sur.
California Air Resources Board. 2016. Advanced Clean Transit Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles (Discussion Draft).
California HVIP, n.d. HVIP Total Cost of Ownership Estimator.
California HVIP, n.d. Infrastructure.
CALSTART. 2010. Energy Storage Compendium: Batteries for Electric and Hybrid Heavy-Duty Vehicles.
Cano et al. 2018. Batteries and Fuel Cells for Emerging Electric Vehicle Markets.
Carrilero et al. 2018. Redesigning European Public Transport: Impact of New Battery Technologies in the Design of Electric Bus Fleets.
ChargePoint. 2020. What It Takes to Manage an EV Fleet.
Clairand et al. 2019. Electric Vehicles for Public Transportation in Power Systems: A Review of Methodologies.
Clean Energy Works, n.d. Tariffed On-Bill Finance to Accelerate Clean Transport.
Climate & Clean Air Coalition, n.d. Air Pollution Measures for Asia and the Pacific.
Congressional Research Service. 2020, Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles (R46420).
Cooney et al. 2013. Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses.
Cooper et al. (WRI). 2019. Costs and Emissions Appraisal Tool for Transit Buses.

D

Deliali et al. 2020. Transitioning to Zero-Emission Bus Fleets: State of Practice of Implementations in the United States.
Deng et al. 2019. A Survey on Electric Buses—Energy Storage, Power Management, and Charging Scheduling.

E

Edison Electric Institute. 2019. Preparing to Plug in Your Bus Fleet: 10 Things to Consider.
Edwards et al. 2019. Charging Ahead: The Growth of Electric Car and Bus Markets in Latin American Cities.
Endesa. 2019. Endesa and TMB Install 2 New Pantographs to Charge Electric Buses in Barcelona.
Eudy et al. (NREL). 2016. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results.
Eudy & Jeffers (NREL). 2017. Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results: Second Report.
Evarts. 2019. New York to Add Solar to Transportation Hubs.

G

Gallo. 2016. Electric Truck & Bus Grid Integration, Opportunities, Challenges, & Recommendations.
Gallo et al. 2014. Peak Demand Charges and Electric Transit Buses.
Gao et al. 2017. Battery Capacity and Recharging Needs for Electric Buses in City Transit Services
Geuss. 2019. Electric Car Batteries Might Be Worth Recycling, But Bus Batteries Aren't Yet.
Gharaei et al. 2020. Comparative Lifecycle Assessment of Diesel, Hydrogen and Electric Buses in Real Driving Cycles in Tehran.
Gohlich et al. 2018. Design of Urban Electric Bus Systems.
Gomez Jattin (GIZ). 2019. Financial Mechanisms for Electric Bus Adoption.
Gong et al. 2020. Road Test-Based Electric Bus Selection: A Case Study of the Nanjing Bus Company.
Grauers et al. 2020. Total Cost of Ownership Model and Significant Cost Parameters for the Design of Electric Bus Systems.
Green Car Congress. 2020. Szczytno Orders Two Solaris Urbino 8.9 Electric Buses.
Grengs. 2007. Community-based Planning as a Source of Political Change: The Transit Equity Movement of Los Angeles' Bus Riders Union.
Grutter Consulting. 2014. Real World Performance of Hybrid and Electric Buses.

H

Hajat et al. 2015. Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review.
Hall et al. 2018, Adjustments of public transit operations planning process for the use of electric buses.
Harvard School of Public Health. 2020. Coronavirus and Air Pollution
High Volume Transport Programme. 2020. State of Knowledge Final Report on Urban Transport.

Hill. 2020. Washington e-buses get 300 kw wireless charging system.
Horrox and Casale (U.S. PIRG). 2019. Cities in North America.
Horrox & Casale. 2019. Electric buses in America: Lessons From Cities Pioneering Clean Transportation.

I
ICCT. 2018. Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions.
ICLEI. 2020. COVID-19: Focus on Cities and Transport Responses—South America.
Iclodean et al. 2017. Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles.
Inside EVs. 2019. Solaris Introduces Urbino 18 Electric with 553 kWh Battery.
International Finance Corporation (IFC, World Bank). 2020. E-bus Economics: Fuzzy Math?
International Finance Corporation (IFC, World Bank). 2020. Electric Buses: Why Now?
Institute for Energy Research. 2019. The Afterlife of Electric Vehicles: Battery Recycling and Repurposing
Institute for Energy Research (IER). 2019. The Environmental Impact of Lithium Batteries.
IPT Technology, n.d. Wireless Charging Buses.
ITDP China. 2020. Research on Roadmap of Phasing Out Traditional Internal Combustion Vehicles in Public Sectors in Chinese Cities.

J
Jiao & Evans. 2017. Business Models for Sustainability: The Case of Re-Purposing a Second Life for Electric Vehicle Batteries.
Jin (ICCT). 2020. Preparing to Succeed: Fleet-Wide Planning Is Key in the Transition to Electric Buses.
Johnson et al. (NREL). 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses.
Jwa & Lim. 2017. Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Battery Electric Bus and Diesel Bus From Well to Wheel.

K
Kash & Hidalgo. 2014. The Promise and Challenges of Integrating Public Transportation in Bogota, Colombia.
Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Republik Indonesia, n.d. Dashboard Percepatan Program KBLBB (Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai).
Khadekar et al. 2018. The Case for All New City Buses in India to Be Electric.
King County Metro. 2020. Battery-Electric Bus Implementation Report: Interim Base and Beyond.

L
Laib et al. 2018. Modelling Noise Reductions Using Electric Buses in Urban Traffic: A Case Study from Stuttgart, Germany.
Laizans et al. 2016. Economic Viability of Electric Public Buses: Regional Perspective.
Lajunen. 2014. Energy Consumption and Cost-Benefit Analysis of Hybrid and Electric City Buses.
Landrigan et al. 2010. Environmental Justice and the Health of Children.
Landrigan et al. 2017. The Lancet Commission on Pollution and Health.
Lefevre et al. (Inter-American Development Bank). 2019. Bogotá is a pioneer in acquiring electric buses by tender.
Levy. 2019. The Verdict Is Still Out on Battery Electric Buses.
Li. 2016. Battery Electric Bus Developments and Operations: A Review.
Li et al. 2017. Current Trends and Innovations Affecting the Potential for a Widespread Adoption of Electric Buses—A Comparative Case Study of 22 Cities in the Americas, Asia-Pacific, and Europe.
Li et al. 2018. Air Pollution and Environmental Injustice: Are the Socially Deprived Exposed to More PM2.5 Pollution in Hong Kong?
Li et al. 2018. Planning of Electric Public Transport System under Battery Swap Mode.
Lin Et Al. 2019. Multi-Stage Large Scaling Charging Station Planning for Electric Buses Considering Transportation Network and Power Grid.
Liu. 2019. The U.S. Electric Bus Transition: An Analysis of Funding and Financing Mechanisms.
Lowell. 2019. Electric Bus 101: Economics, Politics, Myths, & Facts.

M
Mahmoud et al. 2016. Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains.
Masiero et al. 2016. Electric Vehicles in China: BYD Strategies and Government Subsidies.
Mayor of London. 2018. Mayor Launches New Taskforce to Expand Electric Vehicle Infrastructure.
Mckenzie & Durango-Cohen. 2012. Environmental Life-Cycle Assessment of Transit Buses with Alternative Fuel Technology.
McKinsey & Company. 2018. The European Electric Bus Market Is Charging Ahead, But How Will It Develop?
Meishner & Sauer. 2019. Technical and Economic Comparison of Different Electric Bus Concepts Based on Actual Demonstrations in European Cities.

Melin (Circular Energy Storage), n.d. The Lithium-ion Battery End-of-life Market—Baseline Study.
Miao et al. 2019. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements.
Miles and Potter. 2014. Developing a Viable Electric Bus Service: The Milton Keynes Demonstration Project.
Miller et al. 2018. Electric Buses: Clean Transportation for Healthier Neighborhoods and Cleaner Air.
Miller et al. (ICCT). 2017. Financing the Transition to Soot-Free Urban Bus Fleets in 20 Megacities.
MJB & A. 2020. Battery Electric Bus and Facilities Analysis.
Mohamed et al. 2018. What Hinders Adoption of the Electric Bus in Canadian Transit? Perspectives from Transit Providers.
Moon-Miklaucic (WRI). 2019. Financing Electric and Hybrid-Electric Buses.
Murray (NS Energy). 2019. Is the Nobel Prize-Winning Lithium-ion Battery Really Having a Positive Impact on the Environment?

N

Nair et al. 2019. Lithium Metal Polymer Electrolyte Batteries: Opportunities and Challenges.
National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Battery Electric Buses State of the Practice.
New Flyer, n.d. Xcelsior CHARGE.
New Flyer. 2017. Xcelsior CHARGE: Electric Bus Competitive Comparison.
New Flyer. 2018. Xcelsior CHARGE XE35 Technical Summary.
New Flyer. 2018. Xcelsior CHARGE XE40 Technical Summary.
New Flyer. 2018. Xcelsior CHARGE XE60 Technical Summary.
Niti Aayog, Government of India, n.d. Private Public Partnership in Operation and Maintenance of Electric Buses in Cities (OPEX Model): Model Concession Agreement.
Nordelof et al. 2019. Life Cycle Assessment of City Buses Powered by Electricity, Hydrogen Vegetable Oil, or Diesel.
Nova Bus, n.d. LFSe.
Nova Bus, n.d. LFSe+.

O

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2013. Diesel Exhaust/Diesel Particulate Matter.
Orbea (TheCityFix). 2018. How Santiago de Chile Became a Global Leader on Electric Buses.
Orbea et al. 2019. Adapting Procurement Models for Electric Buses in Latin America.

P

Pelican and Yutong, n.d. E12 Electric Bus.
Pelletier et al. 2019. The Electric Bus Fleet Transition Problem.
Penn and Lipton (NYT). 2021. The Lithium Gold Rush: Inside the Race to Power Electric Vehicles.
Perrotta et al. 2014. Route Planning for Electric Buses: A Case Study in Oporto.
Philatie. 2015. Fully Electric City Buses—The Viable Option.
Plataforma Nacional de Mobilidade Eletrica. 2020. 1o Anuário Brasileiro Da Mobilidade Elétrica.
pManifold, March. 2020 (presentation). Shifting the Gears—Toward Electric Buses: Basics of E-Buses—The Relevance and Possibilities.
pManifold, April. 2020 (presentation). E-bus Adoption and Integration: Lessons from Europe and the Middle East.
Posada (ICCT). 2020. Development of a strategy to accelerate the adoption of Soot-free buses in Johannesburg, South Africa (presentation).
Potkany et al. 2018. Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diesel Buses.
Proterra, n.d. Revolutionizing Transit: The Proterra ZX5 Electric Transit Bus.
Proterra. 2019. Financing EV Fleets with Proterra Battery Leasing Program.

Q

Quarles et al. 2020. Costs and Benefits of Electrifying and Automating U.S. Bus Fleets.

R

Roberts (Vox). 2018. China made solar panels cheap. Now it's doing the same for electric buses.
Rogge et al. 2015. Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements.

S

Sclar et al. 2019. Barriers for Adopting Electric Buses.
Scott (Forbes). 2020. Ever-Cheaper Batteries Bring Cost of Electric Cars Closer to Gas Guzzlers.
Shahan. 2020. Lithium-Sulfur Batteries to Help Electrify Brazil's Bus Fleets.
Shahan (Clean Technica). 2021. New Charging Station in Spain Uses 2nd-Life Electric Bus Batteries.

Shen et al. 2014. Current and Future Greenhouse Gas Emissions Associated with Electricity Generation in China: Implications for Electric Vehicles.
Shepard. 2019. 200-kw Wireless Charging System for Electric Transit Buses.
Shieber & Crichton (Tech Crunch). 2021. DuPont and VCs See Lithium Mining as a Critical Investment for the Electric Future.
Sierra Club, n.d. Zero Emission Bus Overview.
Simon et al. 2018. Transformation Toward a Renewable Energy System in Brazil and Mexico—Technological and Structural Options for Latin America.
Sims et al. (IPCC). 2014. Transport. In: Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer et al. (eds.)].
Singh. 2020. Alleviating Stress on the Grid with EV Fleet Adoption.
Soderlundh, (presentation) 2016. Fossil Free Sweden: Supporting Local Government Climate Action Through Green Loans & Green Bonds.
Solaris. 2020. Urbino 15 LE Electric.
Solaris. 2020. Zero Emission Powertrains: Product Catalogue 2020/2021.
Sustainable Bus. 2021. Another batch of 406 e-buses for Bogotá (Colombia). Again with BYD's logo.
Sustainable Bus. 2020. All 90 Solaris Urbino 12 Electric Made It to Berlin.
Sustainable Bus. 2020. BYD Has Delivered the First 120 E-Buses Out of 470 Unit Order in Bogotá (Colombia).
Sustainable Bus. 2021. BYD in Colombia, the Awarding of a 1,002 units Tender for Transmilenio (Bogotá).
Sustainable Bus. 2020. CATL to Equip VDL E-Buses With Its LFP Battery (and Reveals a New European Dealer).
Sustainable Bus. 2020. Electric bus, Main Fleets and Projects Around the World.
Sustainable Bus, n.d. More Than 100 Bluebus Electric Buses Ordered in Paris (with LMP batteries).
Sustainable Bus. 2019. Solaris Ready to Unveil a Solaris Urbino 18 Electric with 550 kWh Battery.,
Sustania. 2019. Buses Go Truly Zero Emission With Solar Power.

T

The Mobility House, n.d. Smart Charging for Your Electric Buses.
Tigue. 2019. U.S. Electric Bus Demand Outpaces Production as Cities Add to Their Fleets.
Tomaszewska et al., (2019). Lithium-ion battery fast charging: a review. ETransportation, 1, 100011.
Transport for London, n.d. Improving Buses.
TUMI. 2020. The COVID-19 Outbreak and Implications to Sustainable Urban Mobility – Some Observations.

U

UITP. 2019. The Impact of Electric Buses on Urban Life.
UITP, n.d. ZeEUS Bonn (DE).
UITP, n.d. ZeEUS Demonstrations.
UITP. 2016. ZeEUS eBus Report: An Overview of Electric Buses in Europe.
UITP. 2017. ZeEUS eBus Report #2: An Updated Overview of Electric Buses in Europe.
UITP, n.d. ZeEUS Eindhoven (NL).
UITP, n.d. ZeEUS Munster (DE).
UITP, n.d. ZeEUS Warsaw (PL).
UN Environment Programme. 2019. World's Largest Public Bus System Begins Transition to Electric Vehicles.
The University of Tennessee at Chattanooga, n.d. FAQs: Electric and Hybrid Buses.

V

Vapor Bus International (Mass Transit). 2020. ETS Installs In-Depot Pantographs to Charge Electric Buses.
Varga et al. 2016. Electric and Hybrid Buses for Urban Transport: Energy Efficiency Strategies.
VDL Coach & Bus, n.d., Aiming for Zero. Move Together. Citea. [Download on page].
Vepsalainen et al. 2018. Energy Uncertainty Analysis of Electric Buses.
Volvo Buses. 2019. How Electric Buses Can Address Noise Pollution.
Volvo LIGHTS, n.d. About.
Volvo, n.d. Volvo 7900 Electric Data Sheet.

W

Wang & Gonzalez. 2013. Assessing Feasibility of Electric Buses in Small and Medium-Sized Cities.
Welch et al. 2020. Moving Zero-Emission Freight Toward Commercialization.
Wilson. 2020. To Get More Electric Buses, We Don't Just Need a Better Battery, We Need a Better Grid.
World Bank. 2019. Green Your Bus Ride: Clean Buses in Latin America.
World Economic Forum. 2018. Electric Vehicles for Smarter Cities: The Future of Energy and Mobility
World Health Organization (WHO), n.d. Air Pollution.
World Health Organization (WHO). 2018. Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air.
World Health Organization Europe, n.d. Noise.
Wu (APTA), n.d. (presentation). Lessons Learned From Operating Battery Electric Buses in the Real World.

X

Xu et al. 2019. Carbon Asset of Electrification: Valuing the Transition from Fossil Fuel-Powered Buses to Battery Electric Buses in Beijing.
Xylia et al., n.d. Locating Charging Infrastructure for Electric Buses in Stockholm.

Y

Yutong, n.d. E12 Full Electric City Bus.

Z

ZEBRA, n.d. From Pilots to Scale: Lessons from Electric Bus Deployments in Santiago de Chile.
ZEBRA. 2019. Medellin—Business Roundtable—Summary: Technology and Financing Options to Deploy Zero-Emission Fleets in the Public Transport Bus System (TPC) in Medellin.
ZEBRA & P4G. 2020. Accelerating a Market Transition in Latin America: New Business Models for Electric Bus Development.
Zhang. 2019. Analysis of "Shenzhen Model" for New Energy Vehicle Promotion in Public Transportation.
Zhong Tong Bus, n.d. Electric Coach.

ITDP

Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento